

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Vliv mineralizace na trvanlivostní parametry dřeva

Mineralization effect on wood durability parameters

Student:

Bc. Eliška Svíderová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Tereza Majstríková, Ph.D.

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra stavebních hmot a diagnostiky staveb

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Eliška Sviderová**
Studijní program: N3607 Stavební inženýrství
Studijní obor: 3607T021 Stavební hmoty a diagnostika staveb
Téma: **Vliv mineralizace na trvanlivostní parametry dřeva**
Mineralization effect on wood durability parameters
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Životnost dřevěných konstrukčních prvků je ovlivněna trvanlivostí použitých dřevin, výběrem vhodných preventivních zásahů a intenzitou působení degradačních faktorů. Prodloužení životnosti dřevěného materiálu lze docílit aplikací chemických látek, která může mít charakter ošetření nebo modifikace. K takovýmto zásahům lze řadit taktéž mineralizaci. Mineralizaci dřeva křemičitany lze považovat na základě dosud provedených výzkumů za velice perspektivní z hlediska redukce příjmu vody. Díky těmto závěrům je možné předpokládat, že budou ovlivněny i další parametry související s trvanlivostí takto ošetřeného materiálu. Z tohoto důvodu je cílem této práce zhodnocení vlivu mineralizace křemičitany, zejména na bázi organosilanů, na odolnost dřeva proti působení degradačních faktorů. Zkoumání budou především abiotičtí činitelé, způsobující destrukci dřevěných konstrukcí. K tomu účelu budou využity metody in situ i in vitro. První část práce (teoretická) se bude zabývat problematikou dřeva, jeho degradací a možnostmi zvyšování trvanlivosti dřevěných prvků se zaměřením na využití mineralizace. Ve druhé části (praktické) bude sledováno působení abiotických degradačních činitelů na dřevěné vzorky mineralizované komerčním přípravkem na bázi organosilanů, a to jak v podmínkách stavby, tak i v laboratoři. Účinnost mineralizace bude vyhodnocena na základě porovnávání získaných parametrů mineralizovaného dřeva s referenčním materiálem, u něž neproběhla aplikace mineralizačních látek.

Seznam doporučené odborné literatury:

- KUKLÍK, P.: Dřevěné konstrukce. Praha: ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.
REINPRECHT, L.: Ochrana dřeva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004. ISBN 978-80-228-1863-6.
REINPRECHT, L.: Wood Deterioration, Protection and Maintenance. Chichester: Wiley Blackwell, 2016. ISBN 978-1-119-10653-1.
REINPRECHT, L., Grznárík, T.: SilánDrevo. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014. ISBN 978-80-228-2666-2.
WITZANY, J., et al.: PDR – Poruchy, degradace a rekonstrukce. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (2006).
ČSN EN 212: Ochranné prostředky na dřevo - Návod na odběr a přípravu vzorků ochranných prostředků na dřevo a zkušebních těles z ošetřeného dřeva k analýze (2004).
ČSN EN 330: Ochranné prostředky na dřevo. Postup zkoušek pro zjišťování relativní účinnosti ochranného prostředku na dřevo použitého pod nátěrem a mimo styk se zemí ve volné přírodě: Metoda L-spoje (2015).
ČSN EN 335: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva - Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo

a na výrobky na bázi dřeva (2013).

ČSN EN 384 Konstrukční dřevo - Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty (2010).

ČSN EN 408: Dřevěné konstrukce - Konstrukční dřevo a lepené lamelové dřevo - Stanovení některých fyzikálních a mechanických vlastností (2012).

ČSN EN 13183-1: Vlhkost vzorku řeziva - Část 1: Stanovení váhovou metodou (2004).

ČSN EN 13183-2 Vlhkost vzorku řeziva - Část 2: Odhad elektrickou odporovou metodou (2002).

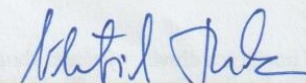
ČSN P CEN/TS 12037: Ochranné prostředky na dřevo - Postup zkoušek pro zjišťování relativní účinnosti ochranného prostředku na dřevo bez styku se zemí ve volné přírodě – Metoda horizontálního překlátovaného spoje (2005).

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tereza Majstříková, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 30.11.2018


doc. Ing. Vlastimil Bílek, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121 / 2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB – TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB – TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111 / 1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě.....

Anotace

Trvanlivost dřevěných prvků je jedním z důležitých aspektů pro použití do dřevěných staveb v různém prostředí. Pro zvýšení jejich životnosti je vhodné dřevo preventivně ošetřit, a tím omezit působení degradačních činitelů, především působení klimatických vlivů.

Tato diplomová práce se zabývá chemickou ochranou dřeva - mineralizací, a to především aplikací organosilanu. Po této úpravě se zkoumaly především změny hmotnosti související s vlhkostí, případně degradací materiálu nebo změny mechanických parametrů – pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny a rázové houževnatosti. Hodnocen byl také vliv mineralizace dřeva organosilanem na termickou degradaci dřeva pomocí termické analýzy.

V závěru této diplomové práce jsou výsledky jednotlivých analýz vyhodnoceny z hlediska ovlivnění odolnosti mineralizovaného dřeva vůči působení abiotických činitelů.

Klíčová slova

Trvanlivost dřeva, mineralizace dřeva, expozice vzorku ve stavbě, pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny, rázová houževnatost, termická analýza

Annotation

The durability of wooden elements is one of the important aspects for use in wooden structures in different environment. Preventive treatment is appropriate for extension of wooden life and also for reduction of degradation factors, in particular the climate effects.

This thesis deals with the chemical protection of wood - mineralization, mainly applications of organosilane. The investigated parameters after treatment are mainly the weight changes connected with material moisture and the changes of mechanical parameters – compressive strength parallel to the fibres and the impact strength. The influence of wooden mineralization by organosilane on the thermal degradation of wood was also evaluated by thermal analysis.

At the conclusion of this diploma thesis, the results of individual analyses are evaluated in terms of influencing the resistance of mineralized wood against the effect of abiotic factors.

Key words

Durability of wood, wooden mineralization, sample exposure in a building, compressive strength parallel to the grain; impact toughness, thermal analysis

Obsah diplomové práce

Seznam použitého značení.....	10
1. Úvod.....	12
2. Cíle práce	13
I. TEORETICKÁ ČÁST	14
3. Základní informace o dřevě	14
3.1. Struktura dřeva	14
3.2. Vlastnosti dřeva.....	17
3.2.1. Fyzikální vlastnosti dřeva.....	17
3.2.2. Mechanické vlastnosti dřeva	18
4. Degradace dřeva	22
4.1. Biotická degradace	22
4.2. Abiotická degradace.....	24
5. Ochrana dřeva	26
5.1. Historické materiály a technologie ochrany dřeva.....	26
5.1.1. Historické technologie.....	27
5.2. Fyzikální ochrana dřeva	28
5.3. Ošetřování dřeva chemickými látkami.....	30
5.3.1. Výběr vhodné chemické ochrany dřeva	30
5.3.2. Chemické ochranné prostředky pro ošetřování dřeva	33
5.3.3. Postupy provádění ochrany dřeva	34
5.4. Modifikace dřeva	35
5.4.1. Mechanická modifikace.....	35
5.4.2. Chemická modifikace	35
5.4.3. Termická modifikace	36
5.4.4. Biologická modifikace.....	37
6. Mineralizace dřeva.....	38
6.1. Přirozená mineralizace	38
6.2. Umělá mineralizace.....	39
6.3. Aplikace křemičitanů	39
6.3.1. Hydrofobizační ošetření materiálu	39
6.3.2. Modifikace materiálu křemičitany	40
6.3.3. Organo-silany	41

II. PRAKTICKÁ ČÁST	43
7. Experimentální ověření vlivu mineralizačního ošetření na degradaci dřeva ve stavbě	43
7.1. Příprava vzorků	43
7.1.1. Dřevo a výroba vzorků, mineralizační látka.....	43
7.1.2. Použité metody ochrany dřeva	46
7.2. Uložení vzorků	48
7.3. Monitorování vzorků v průběhu jejich expozice na stavbě	50
7.4. Laboratorní stanovení mechanických parametrů po expozici vzorků.....	54
7.4.1. Stanovení pevnosti v tlaku ve směru vláken	55
7.4.2. Stanovení rázové houževnatosti	59
8. Hodnocení termické degradace mineralizovaného dřeva	62
8.1. Příprava vzorků	62
8.2. Termická analýza	63
8.2.1. Metodika provádění termické analýzy	63
8.2.2. Vyhodnocení termické analýzy	64
9. Závěr	74
10. Poděkování.....	76
11. Použité zdroje informací	77
11.1. Normy	77
11.2. Odborná literatura	78
11.3. Odborné články a jiná publikace.....	79
11.4. Zdroje z internetu	81
12. Seznamy.....	84
12.1. Seznam obrázků	84
12.2. Seznam tabulek	85
12.3. Seznam příloh.....	85

Seznam použitého značení

A_w ...rázová houževnatost při určité vlhkosti [$J.cm^{-2}$]
 A_{12} ... rázová houževnatost při 12% vlhkosti [$J.cm^{-2}$]
 B ...buk
 c ...koncentrace ochranného prostředku (účinné složky) [%]
 c_{NESP} ...koncentrace nespalitelné složky [$kg.m^{-3}$]
ČSN...Česká technická norma
DSC...diferenční kompenzační kalorimetrie
DTG...derivační termogravimetrie
 E ...Youngův modul pružnosti [MPa]
EN...Evropská norma
 e ...exteriér
 F_{MAX} ...maximální síla [kN]
 G ...smykový modul pružnosti [MPa]
ISO...Mezinárodní norma
 i ...interiér
 l ...délka [mm]
 M ...modřín
 m_{PUV} ...původní hmotnost válcových řezů [g]
 m_{NESP} ...hmotnost nespalitelného podílu válcových řezů [g]
OH...hydroxylová skupina
OA...ošetření A – nátěr
OB...ošetření B – máčení po dobu 1 hodiny
OC...ošetření C – máčení po dobu 4 hodin
pH...vodíkový exponent
 Q ...práce [J]
 SiO_2 ...oxid křemičitý
 S ...smrk
TG...termogravimetrie
UV...ultrafialové záření
 V_0 ...objem původních vzorků [m^3]
 w ...vlhkost [%]

X ...příjem ochranné látky [kg.m^{-3}]

α ...opravný koeficient pro dřeviny [-]

σ_w ...pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny při určité vlhkosti [MPa]

σ_{12} ...pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny při 12 % vlhkosti [MPa]

ρ ...hustota dřevin [kg.m^{-3}]

Δ_{SP} ...podíl spalitelných složek [%]

Δ_{NESP} ...podíl nespalitelných složek [%]

1. Úvod

Dřevěné stavby jsou v dnešní době velice žádané, a to bez ohledu na lokalitu umístění. Podstatná je hlavně volba použitého dřeva, jelikož každý druh dřeva má své specifické vlastnosti – své výhody a nevýhody. Stavby ze dřevěných prvků jsou nejen velmi estetické, ale problematická může být jejich trvanlivost, která je ovlivněna právě druhem použitého dřeva, jeho správným zakomponováním do stavby, ale také způsobem jeho ochrany.

Ochrana dřeva je v současnosti nedílnou součástí při zabudování dřevěných prvků do stavby, která zajišťuje jejich dlouhodobou trvanlivost. K tomuto účelu je možné využít metody založené na fyzikálním principu, různé druhy ošetření, či modifikaci materiálu. Vzhledem k omezené životnosti jednotlivých metod ochrany dřevěných konstrukcí, je vhodné provádět dodatečné ošetřování dřeva i během celého životního cyklu stavby, a tím oddalovat totální degradaci materiálu.

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku mineralizace dřeva pomocí komerčního organosilanu, v rámci níž se hodnotí vliv zmíněného ošetření na abiotickou degradaci vzorků z rostlého dřeva. Konkrétně je sledována expozice dřevěných vzorků v horském prostředí, kde se předpokládá významné působení povětrnostních vlivů - střídajících se teplot, působení slunečního záření, větru, vody atd.

Druhou oblastí zájmu bylo hodnocení termické degradace v povrchových vrstvách mineralizovaného dřeva.

2. Cíle práce

V této diplomové práci bylo mým cílem prokázat vliv použitého mineralizačního přípravku na bázi organosilanů – Lukofobu 39na abiotickou degradaci materiálu u různých druhů dřevin.

Svou diplomovou práci jsem rozdělila na dvě části. V první teoretické části jsou popsány základní charakteristiky dřeva, jeho degradace, a s tím úzce související metody ochrany dřeva, zejména na mineralizaci dřeva. Druhá praktická část byla zaměřená na testování rostlého dřeva ve formě nařezaných a ohoblovaných vzorků, které byly ošetřeny třemi různými způsoby ochrany – nátěrem, máčením po dobu jedné hodiny a máčením po dobu čtyř hodin. Po ustálení hmotnosti byly následně mineralizované vzorky podrobeny testování.

V první etapě byly vzorky dřeva převezeny na místo stavby – chlěvu ve Velkých Karlovicích a to včetně vzorků neošetřených - referenčních. V rámci stavby by vzorky umístěny do exteriéru bez kontaktu se zemí, do exteriéru v kontaktu se zemí a do interiéru. Jedna sada referenčních vzorků byla ponechána v prostředí laboratoře. Během šesti měsíců bylo následně hodnoceno, jak se mění vzorky ošetřené i neošetřené mineralizačním prostředkem, přesněji jaký účinek má měnící se teplota, působící vlhkost a další degradační faktory na definovaném místě v horské lokalitě. Předmětem mého zkoumání bylo vizuální hodnocení barevných změn, měnící se hmotnost a případný nález biologické degradace. Po proběhlé expozici byly vzorky testovány v laboratoři, kde se hodnotila změna mechanických parametrů (pevnosti v tlaku ve směru vláken a rázové houževnatosti), která může být zapříčiněna degradací.

Druhá etapa praktické části je věnována termické degradaci dřeva, protože tento organický materiál vlivem zvýšené teploty snadno degraduje. Na základě termické analýzy byly v tomto případě ověřovány posuny na TG, DTG a DSC křivkách, které by změny v průběhu termické dekompozice měly odhalovat.

I. TEORETICKÁ ČÁST

3. Základní informace o dřevě

Dřevo patří k jednomu z nejvíce používaných materiálů a to i v dnešní době. Jedním z důvodů jeho hojného využití je jeho obnovitelnost, ale také poměrně dobrá pevnost, lišící se v závislosti na druhu použité dřeviny, nízká objemová hmotnost a výhodné tepelně - izolační vlastnosti. [19, 20]

Jako každý jiný materiál má i dřevo své nevýhody, mezi které patří například hořlavost, která je ovlivněna rozměry prvků, ale také opracováním dřeva nebo jeho strukturními parametry, zejména pak pórovitostí. Problematické je také působení vlhkosti, měnících se teplot, různých biologických škůdců a jiných degradačních faktorů, které mohou být příčinou vizuálních změn, ale i důležitých fyzikálně – mechanických parametrů. [34, 60]

3.1. Struktura dřeva

Dřevo je charakteristické svou anizotropií. To znamená, že díky specifické struktuře dřeva má tento materiál v různých směrech různé vlastnosti. U dřeva rozeznáváme tři základní směry – příčný (transversální), radiální a tangenciální směr. [15,20]

Stavba (struktura) dřeva se dělí na molekulární, anatomickou (submikroskopickou), mikroskopickou a makroskopickou. [20]

Makroskopickou stavbu dřeva můžeme pozorovat okem. Mezi nejsledovanější prvky patří [20, 54, 55]:

- **Letokruhy** jsou přírůstky dřeva za jedno vegetační období (1 rok) a mají dvě části – jarní (světlejší) a letní (tmavší).
- **Dřeňové paprsky** rozvádí vodu v příčném směru, dále pak ovlivňují fyzikální a mechanické vlastnosti.
- **Jádru** je středová část dřeva, která má vyšší hustotu než běl, je trvanlivější a jeho tvorba závisí na druhu dřeviny.

- **Běl** je vnější světlejší část dřeva, která vede vodu od kořenů k listům, jeho nevýhodou je menší odolnost proti škůdcům.
- **Pryskyřičné kanálky** se nachází pouze u jehličnatých dřevin a tvoří je buňky, které vylučují pryskyřici.
- **Cévy** dělíme na velké jarní a malé letní. Jarní jsou viditelné a mají velké průměry, naopak letní jsou okem neviditelné.
- **Lýko** je vnitřní vrstva kůry přiléhající ke kambiu. Jeho funkce je vedení a ukládání organických látek.
- **Kambium** je tenká (mikroskopická) vrstva buněk ležící pod kůrou, které tvoří směrem ke středu kmene buňky dřeva a směrem ke kůře buňky lýka.
- **Kůra** je povrchová vrstva kmene, která chrání dřevo a kambium. Její vzhled je závislý především na stáří stromu.

Mikroskopická stavba dřeva je pozorovatelná pouze pod mikroskopem, jelikož zkoumá funkční elementy, které dřevo obsahuje.

Mezi tyto elementy řadíme [15, 20, 54, 55]:

- **Tracheje** (cévy) jsou buňky listnatých stromů, které slouží k rozvádění vody s živinami
- **Tracheidy** plní stejnou funkci – vedení vody a živin, ovšem především u jehličnatých stromů. Nalézt je však můžeme i u listnatých stromů, kde plní i mechanickou funkci.
- **Libriformní vlákna** jsou odumřelé buňky především listnatých stromů, které slouží k vyztužení dřeva, a tím zvyšují pevnost.
- **Parenchymatické buňky** jsou živé buňky s vodivou a zásobní funkcí, které tvoří dřeňové paprsky, podélný parenchym a pryskyřičné kanálky.

Submikroskopická (anatomická) stavba dřeva definuje stavbu buněk u stěn dřeva, z hlediska jejich vrstevnatosti a z hlediska umístění a zastoupení základních složek dřeva (celulóza, hemicelulóza a lignin). [15]

Molekulární stavba dřeva definuje především chemickou strukturu základních složek dřeva a jejich typ, ale také fyzikální stav těchto složek (tvorba mezimolekulových vazeb). [15]

Mezi strukturní charakteristiky patří zejména vlastnosti, jako barva, textura nebo vůně dřeva. [54, 55]

Textura (kresba) – závisí na provedeném řezu (viz Obr. 1), letokruzích, na rozdílu mezi jarním a letním dřevem. [45]

Barva – je proměnlivá, závisí na různých barvivech, pryskyřicích. Neovlivňuje zásadně pevnost dřeva, je to spíše estetická záležitost. [20, 54]

Vůně je charakteristická pro každou dřevinu a jejím vysycháním slábne. [55]

Porovnáme – li mezi sebou jednotlivé dřeviny, lze nalézt značné rozdíly. Zejména u struktury dřeva na mikroskopické úrovni je viditelné, že listnaté dřeviny jsou značně složitější a tvoří je různé funkčně specifické elementy. Naproti tomu jehličnaté dřeviny jsou strukturně jednodušší.

Z hlediska užitných parametrů jsou více používány rychle obnovitelné jehličnaté dřeviny, které jsou lehčí, měkčí a dobře opracovatelné v porovnání s tvrdšími a těžšími listnáči.[20]



Obr. 1 - Textura dřeva podle směru řezu – příčný řez, radiální řez, tangenciální řez.

[45]

3.2. Vlastnosti dřeva

Jednotlivé charakteristiky dřeva jsou zásadně ovlivněny druhem dřeviny a i prostředím, ve kterém se materiál vyskytuje.

3.2.1. Fyzikální vlastnosti dřeva

Fyzikální vlastnosti slouží k popisu základních materiálových charakteristik. Náleží zde zejména hustota dřeva a dřevní hmoty, vlhkost, či další parametry související s vedením tepla, elektřiny atd. [20, 41, 60]

Jednou z nejdůležitějších fyzikálních vlastností je **vlhkost**. Vlhkost představuje množství vody, které je obsažené ve dřevě. Tato vlastnost výrazně ovlivňuje konečnou pevnost a objemové změny dřeva. Vlhkost je ovlivněna zejména prostředím, ve kterém se dřevo nachází, například v zimě často dosahuje svých maximálních hodnot.

Vlhkost dělíme na hmotnostní (1) a objemovou (2). [15, 20, 61]

$$w_H = \left(\frac{m_{VS} - m_S}{m_S} \right) * 100 \quad [\%] \quad (1)$$

$$w_O = \left(\frac{m_{WS} - m_S}{\rho_{vody} * V} \right) * 100 \quad [\%] \quad (2)$$

, kde m_{VS} ...hmotnost vlhkého vzorku dřeva [kg];

m_S ...hmotnost suchého vzorku dřeva [kg];

ρ_{vody} ...hustota vody [kg.m⁻³];

V ...objem suchého vzorku dřeva [m³].

U jehličnatých dřevin je rozdílná vlhkost jádra (okolo 40 %) a bělového dřeva (okolo 110 %). Kdežto u listnatých dřevin je vlhkost přibližně rovnoměrně rozložená a dosahuje u čerstvě pokáceného dřeva hodnot od 70 do 90 %. [10, 61]

S měnící se vlhkostí se mění i **hustota** dřeva. Což je další fyzikální vlastnost, která se liší podle toho, v jakém prostředí se dřevo nachází. Například vysušené dřevo, které má vlhkost okolo 12 % má hustotu dřeva pro jehličnaté dřeviny od 480 kg/m³ a pro listnaté dřeviny do 800 kg/m³. [19, 20]

Na rozdíl od hustoty dřeva, která se liší podle druhu dřeviny, je hustota dřevní hmoty pro všechny dřeviny stejná a odpovídá hustotě základních složek dřeva $1\,500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [15, 61]

Tepelná vodivost dřeva dosahuje malých hodnot, které se zvětšují s rostoucí vlhkostí dřeva, objemovou hmotností a teplotou. [20]

Elektrická vodivost dřeva se zvyšuje s rostoucí vlhkostí. Jinak je u dřeva prakticky nulová. Dřevo výborně odráží a pohlcuje zvuk, proto se používá pro úpravy akustiky. [20]

3.2.2. Mechanické vlastnosti dřeva

Tyto vlastnosti vyjadřují schopnost materiálu – dřeva odolávat působení vnějších sil. Dřevo patří mezi materiály, jejichž mechanické vlastnosti jsou poměrně dobré. Dřevo je obecně relativně pružné, ohebné, štípatelné a pevné, přičemž nejlepších vlastností dosahuje v tahu rovnoběžně s vlákny (viz Tab. 1). [20, 10]

Díky tomu, že je to materiál s relativně složitou stavbou, je téměř každý dřevěný vzorek jedinečný, a proto je nutné při stanovení jejich pevnostních parametrů dodržovat normové postupy s poměrně značným množstvím testovaných vzorků.

Mechanické vlastnosti jsou ovlivněny fyzikálními vlastnostmi, zejména hustotou a vlhkostí dřeva. [6, 9, 10]

Tab. 1 - Vybrané mechanické parametry některých dřevin [6, 9]

DŘEVINA	PRŮMĚRNÁ PEVNOST V TLAKU ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY [MPa]	TVRDOST DŘEVA [-]	MODUL PRUŽNOSTI [N/mm²]
SMRK	44,5	12-16	10 000-12 000
BUK	55,5	28-40	12 300-16 400
MODŘÍN	64,5	19-25	10 600-14 500
BOROVICE	48,5	14-23	10 800-13 000
JASAN	59,0	28-40	11 900-13 900

Pevnost dřeva

Tato vlastnost vyjadřuje maximální sílu, která je zapotřebí k porušení celistvosti zkoušeného vzorku a i u této charakteristiky záleží na směru zatěžování dřeva.

Pevnost dřeva můžeme rozdělit na statickou a dynamickou. [20, 33, 46]

Statická pevnost

Pevnost v tlaku představuje odpor dřeva, který klade dřevo proti síle, která se ho snaží stlačit. U této pevnosti rozlišujeme zatěžování ve směru vláken a kolmo na vlákna.

Při pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny dosahuje dřevo při vlhkosti 12 % průměrné hodnoty okolo 50 MPa, záleží však na druhu dřeviny. Listnaté dřeviny dosahují zpravidla vyšších pevností. [9, 40]

Při pevnosti v tlaku napříč vláken dochází k postupné deformaci a struktura dřeva se zhušťuje. Při této deformaci zpravidla nedochází k celkovému porušení vzorku. [40]

Pevnost v tahu vyjadřuje schopnost dřeva odolávat tahové síle. U této veličiny taktéž rozlišujeme pevnosti v tahu rovnoběžně s vlákny a kolmo na vlákna. U jehličnatých dřevin je tahová pevnost rovnoběžně s vlákny v rozmezí 10 – 13 MPa a u listnatých dřevin okolo 18 MPa. [9, 40]

Pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny je oproti pevnosti v tahu kolmo na vlákna znatelně vyšší, patrně díky struktuře stěn buněk dřeva a jejich vláknitým tvarem. [46, 60]

Smyková pevnost je schopnost dřeva odolávat síle, která vyvoluje smykové namáhání. Obecně je známo, že dřevo má smykovou pevnost menší ve směru vláken než kolmo na ně. Smyková pevnost ve směru vláken dosahuje při 12 % vlhkosti průměrných hodnot okolo 10 MPa. [40, 60]

Smyková pevnost napříč vláken je 4x vyšší než smyková pevnost ve směru vláken.

U listnatých dřevin je tato pevnost cca 2 krát vyšší než u jehličnatých dřevin. [9, 42]

Ohybová pevnost představuje schopnost dřeva odolávat ohybovému zatížení, které se vyvoluje na tělese podepřeném podpěrami. Listnaté dřeviny dosahují zpravidla vyšších ohybových pevností. U jehličnatých dřevin se ohybová pevnost mění v závislosti na řezu dřeva. V tangenciálním směru dosahuje jehličnaté dřevo 10x vyšších hodnot než ve směru radiálním. [9, 20, 40]

Pevnost ve vzpěru představuje kombinaci tlakové pevnosti a pevnosti dřeva v ohybu. [9, 40]

Dynamická pevnost

Schopnost materiálu odolávat zatížení, jehož hodnoty se dynamicky mění.[40]

V rámci testování dynamických pevností mohou být využity podobné zkušební schémata jako v případě statických zkoušek, nebo mohou být využity specifické testovací metody, například dynamická (rázová) houževnatost. [40]

Houževnatost je schopnost dřeva odolávat rázovému namáhání. Houževnaté dřeviny jsou především jasan, dub, buk nebo smrk. [40, 60]

Houževnatost je závislá na průběhu sušení dřeva a na jeho vadách. Zkouší se pomocí rázové zkoušky. Její princip spočívá v dopadu (rázu) kladiva na střed zkoušeného vzorku, přičemž zjišťujeme energii, při které dojde k porušení vzorku. [33, 40, 46]

Podle vzhledu porušení hodnotíme křehkost nebo houževnatost lomu a dělíme dřevo na jakostní, nekvalitní a na průměrně jakostní dřevo. [40]

Pružnost dřeva

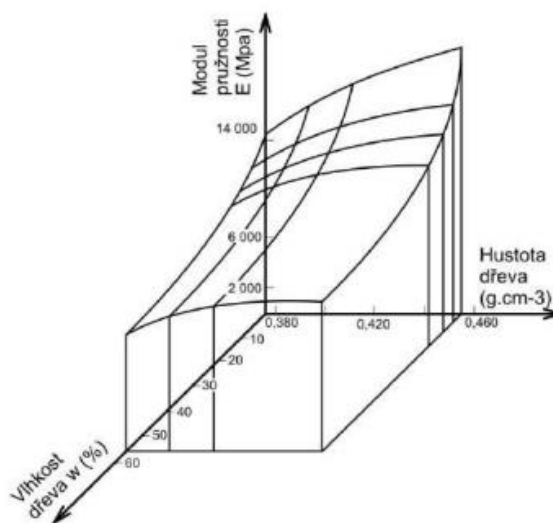
Na rozdíl od pevnosti další charakteristika – pružnost představuje vratnou deformaci materiálu. To znamená, že se po odstranění působící síly vrátí dřevo do původního stavu. [40, 46]

Tato vlastnost je vyjádřena pomocí modulu pružnosti, což je poměr mezi napětím a poměrnou deformací (viz Obr. 2). Velikost modulu pružnosti závisí především na použitém druhu dřeva, na jeho vlhkosti, objemové vlhkosti a na vyskytujících se vadách. [25, 40]

Při vlhkosti 12 % dosahuje modul pružnosti u dřeva rovnoběžně s vlákny hodnot od 10000 do 15000 MPa. Kolmo na vlákna jsou hodnoty až 25x menší. [46]

Rozlišujeme tyto moduly [25]:

1. **youngovy moduly E**: působí při normálových napětích (tah, tlak, ohyb);
2. **smykové moduly G**: působí při tangenciálních napětích (smyk, krut).



Obr. 2 - Modul pružnosti dřeva v závislosti na hustotě a vlhkosti materiálu [25]

Tvrдость dřeva

Tvrдость dřeva vyjadřuje schopnost povrchu dřeva odolávat pronikání cizího tělesa. Dřeviny můžeme dělit na měkké (smrk, jedle, borovice), středně tvrdé (jasan, duby) a tvrdé (tis). [40]

Ve většině případu platí, že čím těžší dřevo, tím je i tvrdší, obvykle i odolnější a trvanlivější, ale také bývá křehčí. [14, 40]

4. Degradace dřeva

Degradace dřeva je proces, při kterém dochází k výraznému zhoršení kvality dřeva. Dřevěný prvek může být poškozený celý nebo pouze z části (viz Obr. 3).

Taková degradace je způsobená degradačními činiteli, které mají obvykle za následek změny fyzikálních i mechanických parametrů dřeva. [19, 22]



Obr. 3 - Degradace dřeva dřevokazným hmyzem

4.1. Biotická degradace

Tento způsob poškození způsobují „živé“ biologické faktory.

Mezi tyto degradační činitele řadíme především [22, 56]:

- živočichy;
- rostliny;
- bakterie, viry a houby.

1. Živočichové

Do této skupiny řadíme především hmyz, různé druhy hlodavců, zvěř a ostatní živočichy.

Hmyz představuje pro dřevo významný degradační činitel a řadíme zde zejména kůrovcovité (kůrovec) a brouky. Tito činitelé poškozují dřevo především ve fázi larvy požíráním dřevní hmoty, díky čemuž vytváří tzv. požerky, a tím narušují strukturu dřeva. [19, 22]

Hlodavci, především hraboši a bobři, používají dřevo pro tvorbu úkrytů, a proto jej poškozují ohlodáváním, což narušuje jeho celistvost.

Stejným způsobem degraduje dřevo i **zvěř**, mezi kterou řadíme jeleny, srny, muflony a divoká prasata. [22, 56]

2. Rostliny

Tito degradační činitelé se rozdělují na jednoděložné rostliny (se svazčitými kořeny) a dvouděložné (s hlavním kořenem a několika postranními). Degradují zejména dřevo živých stromů tím způsobem, že jejich kořeny prorůstají s kořeny stromů, a tím mohou narušit jejich růst. [56]

Mechy a lišejníky porušují především povrchovou vrstvu zabudovaného dřeva.

Mají za následek špatné odvádění vody. To způsobuje mechanickou i chemickou degradaci dřeva. [15]

3. Bakterie, viry, houby

Bakterie nepředstavují ve srovnání s ostatními organizmy tak důležitý degradační faktor, ale i tak dokážou dřevo poškodit. Napadají pouze celulózu a hemicelulózu. Degradace se projeví především změnou barvy, změknutím povrchu a v některých případech může dojít k mírnému zhoršení pevnosti. [19, 22]

Houby naopak jsou pro degradaci významné, jelikož mají za následek rozpad dřevní hmoty a celkem rychle se rozmnožují. Dřevokazné houby se dělí podle toho, kterou část dřeva poškozují na [19, 22, 56]:

- **Ligninovorní houby** způsobují degradaci ligninu a projevují se vznikem tzv. bílé hniloby. Nejčastějším zástupcem těchto hub je václavka obecná.
- **Celulózovorní houby** napadají celulózu a hemicelulózu a projevují se tzv. hnědou hnilobou. Nejznámější houbou je dřevomorka domácí, u které je typické, že se dřevo v konečné fázi degradace rozpadne na prach.

4.2. Abiotická degradace

„Neživé“ vlivy taktéž přispívají k poškození dřeva, a tím i ke ztrátě trvanlivosti dřeva a zhoršení fyzikálních i mechanických vlastností dřeva.

Mezi tyto vlivy patří především atmosférická degradace, termická degradace a chemická degradace. [19, 38]

Atmosférická degradace (viz Obr. 4) je způsobená zejména působením vody, slunce a větru. Voda se do dřeva dostává z dešťové a spodní vody nebo ze vzdušné vlhkosti a má za následek smáčení povrchu, depozici nestabilních složek a vytváření vhodných podmínek pro biologické činitele[38, 39].

Degradace dřeva sluncem, zejména pak UV zářením, se projevuje především změnou barvy a snížením pevnosti a tvrdosti dřeva [48]. Vítr naopak degradačně působí ve formě abraze solitérních staveb, a u živých stromů je příčinou zlomů a padání [30, 39].



Obr. 4 - Degradace dřeva působením povětrnostních vlivů [30]

Termickou degradaci způsobují především vysoké teploty, které degradují dřevo v oblasti zvětrávání a urychlují poškození povrchu. Vysoké teploty (i oheň) způsobují rozklad základních složek dřeva (viz Tab. 2). [14, 30, 44]

Tab. 2 - Procesy při působení vysokých teplot [44]

TEPLOTNÍ MEZE	REAKCE
< 65 °C	neprobíhá
65 – 110 °C	bez ovlivnění struktury a vlastností
< 150 °C	ovlivněna struktura i vlastnosti
< 200 °C	rozklad hemicelulózy
< 300 °C	depolymerizace celulózy
300 – 400 °C	rozklad ligninu

Nevýhodou dřeva je jeho snadná zápalnost a hořlavost, jelikož dřevo je organická hmota složená především z uhlíku, kyslíku a vodíku. Při zajištění vhodné ochrany dřevěných výrobků se stabilita i únosnost několikanásobně zvyšuje. [20, 35]

K **chemické degradaci** dochází působením různých druhů kyselin (octová, řetavá), peroxidu vodíku a alkálií. Alkálie – hydroxid sodný nebo amonný způsobují, že dřevo více bobtná a následně sesychá. U poškození kyselinami se snižují zejména mechanické parametry dřeva. [16, 30]

5. Ochrana dřeva

Dřevo je materiál, který se používá ve většině staveb. Tento materiál se ale musí chránit před různými degradačními činiteli, aby v expozičních podmínkách vyhověl a zbytečně nedegradoval. Při správném provedení lze zajistit zvýšení životnosti dřeva. [1, 34]

5.1. Historické materiály a technologie ochrany dřeva

V minulosti se pro ochranu dřeva hojně využívalo materiálů, které byly přírodního původu a uměle vyrobených látek se moc nepoužívalo. [13]

Takže k ochraně dřevěných prvků sloužila například **volská krev**, která měla zabránit především pronikání nadměrného množství vody do dřeva, a tím redukovat jeho vlhkost. Dobře také ale sloužila jako ochrana proti biologickým škůdcům a plísním.

Pro dosažení lepších výsledků se krev míchala s dalšími přírodními materiály, jako jsou žluč, sůl nebo saze. [11, 13, 53]

Po ustání zápachu po aplikaci volské krve bylo dřevo esteticky zabarvené (viz Obr. 5). Za výhodu lze považovat i přírodní charakter ošetření, který byl bez většího množství nežádoucích chemických příměsí.[13, 29, 48]



Obr. 5 - Ošetření dřeva volskou krví [48]

Další materiál je „**falunská červen**“, což je minerální barva, která se vyráběla smícháním vody, pšeničné nebo žitné mouky, lněného oleje a červené zeminy z Falunských dolů a následným vařením.

Tato zemina obsahuje vysoký podíl mědi, proto je tento ochranný materiál zbarvený do červena.[11, 29, 43, 48]

Dalším účinným materiálem k ochraně dřeva bylo **vápno**, které chránilo dřevěný objekt před degradačními faktory, zejména biologickými činiteli, díky svému vysokému pH. [48]

5.1.1. Historické technologie

V první řadě byl správnou ochranou dřevěných staveb dobře zvolený druh dřeviny.

Již v minulosti věděli, že každá dřevina se hodí k jinému využití. U nás to byl především jehličnatý smrk, který vynikal svou snadnou štípatelností a snadnou opracovatelností. Navíc byl v českých lesích hojně zastoupen a dostupný. [12, 49, 57]

1. **Zpracování dřeva ihned po těžbě** – prvním krokem bylo pokácení stromu pro konkrétní účel, následné plavení dřeva na místo stavby nebo jeho pozvolné vysoušení. [27, 28]
2. **Napouštění dřeva** – ochrana především před působením vody a vlhkosti pomocí lněného a cedrového oleje, tato technologie byla ještě doplňována o broušení a leštění. [27, 28]
3. **Fermežování** – natírání dřeva horkým olejem za účelem zrychlení zasychání. [27, 28]

5.2. Fyzikální ochrana dřeva

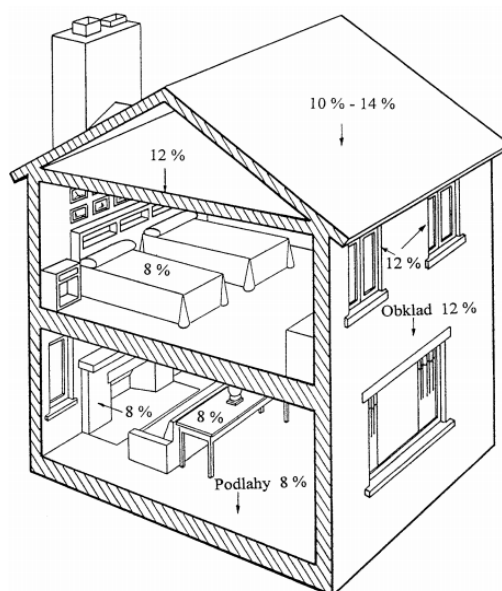
Fyzikální ochrana dřeva je taková ochrana, u které je cílem zajistit vhodné podmínky pro samotný dřevěný prvek a to i v jeho okolí, čímž je zabráněno napadení dřeva biotickými (houby, plísně, hmyz) a abiotickými činiteli (voda, vlhkost, teplota, světlo).

Mezi hlavní metody řadíme suchou a mokrou ochranu dřeva. [15, 21, 27, 57]

Suchá ochrana principiálně spočívá ve snížení vlhkosti dřeva pod 15 %.

Vlhkost lze redukovat pomocí vhodného uskladnění dřeva (viz Obr. 6), kratší doby uskladnění nebo volby vhodného časového období pro těžbu (zima).

Nevýhodou je v tomto případě častý vznik výsušných trhlin, především u listnatých stromů. [48, 52]



Obr. 6 – Rozložení vlhkosti ve stavbě [52]

U **mokrých ochrany** je účelem docílení maximální vlhkosti dřeva, jejíž hodnoty se liší v závislosti na hustotě dřeva. Například u smrku s hustotou 455 kg/m^3 je kritická vlhkost okolo 187 %. [52]

Mezi nejčastější používané technologie u této metody patří[52]:

- **Postřík**-aplikuje se především při teplotách nad 17°C . Je to nejdostupnější technologie, má však nejnižší konečný účinek.
- **Plavení** – se používá za účelem rychlého zvýšení vlhkosti dřeva pro delší uskladnění. Jde především o plavení dřeva po hladině vody po delší dobu.

- **Ponor** je další z jednodušších povrchových ochran dřeva. Jde především o ponoření celého kusu dřeva pod hladinu vody s rychlým nárůstem vlhkosti.

Další fyzikální ochranou dřeva je jeho **sterilizace**. Je to krátkodobá metoda, která ale nezajišťuje preventivní ochranu dřeva proti dalšímu ataku škůdců. Provádí se pomocí zvýšení teploty nad 50 °C, při které dochází k umělému sušení dřeva. [15, 16, 57]

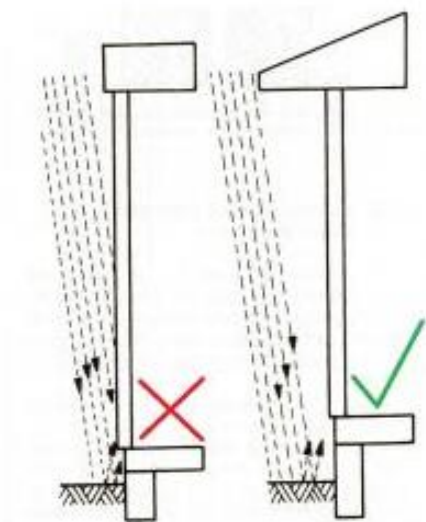
Dále lze použít opalování a ozařování s využitím především UV záření.

Mezi další aplikace patří působení ultrazvuku, které se používá zejména na larvy hmyzu, a zaplňování dřeva toxickými plyny. [50, 57]

V neposlední řadě je vhodná i **konstrukční ochrana** dřeva. Cílem u této ochrany je zabudovat dřevěný prvek tak, aby se předcházelo nebo dokonce zcela vyloučilo působení nepříznivých vlivů [50, 57].

Při konstrukční ochraně je důležité dodržovat pár základních pravidel [20, 28, 57]:

- V první řadě je podstatné zajistit zabudování suchého dřeva, které nebude dosahovat zvýšené vlhkosti (max. 15 %).
- Dále je důležité zajistit dostatečný přesah střechy, aby nedocházelo k zatékání za obklady obvodových stěn (viz Obr. 7).
- Další možností je upravit terén tak, aby byly dřevěné budovy chráněny před růstem trávy podél stěn a zabránit případnému působení odstříkující vody.
- Vhodným krokem je i umístit dřevo v co nejvyšší výšce nad zemí.
- Vhodné provedení dřevěného obkladu je předpokladem pro dobrou ochranu dřeva před případným zatékáním vody přes spáry.
- V neposlední řadě je vhodné dřeva ošetřit ochranným nátěrem nebo ho naimpregnovat tak, aby odolávalo působícímu namáhání.



Obr. 7 - Provedení správného přesahu střechy[28]

5.3. Ošetřování dřeva chemickými látkami

Tento způsob ochrany dřeva se aplikuje až po vyčerpání výše uvedených druhů ochrany. Dřevo lze chránit preventivně nebo dodatečně po jeho expozici ve stavbě.

Chemickou ochranu lze dělit na ochranu s krátkým nebo dlouhodobým účinkem.

Dále se chemická ochrana dělí na povrchovou, polohlubokou a na hlubokou, u které látka proniká až do hloubky 7 mm. [3, 15, 21, 32, 37, 50]

5.3.1. Výběr vhodné chemické ochrany dřeva

Při rozhodnutí použít chemickou ochranu je důležité zvolit správný způsob její aplikace, pro nějž je nutné znát [5, 49, 62]:

1. **Třídu ohrožení:** správné zatřídění se provádí dle ČSN EN 335 - 1 (viz Tab. 3);

Tab. 3 - Třídy ohrožení dřeva [5]

TŘÍDA OHROŽENÍ	VÝSKYT DŘEVA	VLHKOST DŘEVA	BIOLOGIČTÍ ŠKŮDCI
0	klimatizovaný interiér, pod střechou, bez styku se zemí (především obytné místnosti)	pod 10 %	žádní
1	neklimatizovaný interiér, pod střechou, bez styku se zemí, trvale suché (půdy, krovy)	10 – 20 %	brouci
2	bez styku se zemí, chráněné před klimatickými vlivy (sklepy, prádelny)	občasně, lehce nad 20 %	brouci, plísňe, houby způsobující modráni, dřevokazné houby
3	exteriér, bez styku se zemí, vystaveno klimatickým vlivům (obklady)	často vyšší než 20 % + vítr	brouci, plísňe, houby způsobující modráni, dřevokazné houby
4	styk se zemí nebo sladkou vodou (sloupy, pražce, věže)	trvale vyšší než 20 % + vítr + kontakt se zemí	brouci, plísňe, houby způsobující modráni, dřevokazné houby
5	dřevo v kontaktu se slanou vodou (lodě, přístav)	trvale vyšší než 20 % + mořská voda	brouci, plísňe, houby způsobující modráni, dřevokazné houby

2. **Použitý druh dřeva:** je rozdíl mezi použitím jehličnanů nebo listnáčů, které jsou více trvanlivé. Pro posuzování trvanlivosti se používá norma ČSN EN 460;
3. **Účel dřeva:** k výrobě jakého prvku bude dřevo použito;
4. **Požadované vlastnosti:** každá dřevina se hodí více do jiného prostředí, proto je vhodné zjistit její vlastnosti a to, jak se mění v závislosti na umístění dřeva v konstrukci;
5. **Působení na životní prostředí a vnímání lidí.**

Pro každou třídu ohrožení je k dispozici vhodná technologie aplikace chemického prostředku (viz Tab. 4). [62]

Tab. 4 - Technologie aplikace chemického prostředku v závislosti na třídě ohrožení [62]

TŘÍDA OHROŽENÍ	TECHNOLOGIE APLIKACE CHEMICKÉHO PROSTŘEDKU
1	nátěr, postřik
2	nátěr, postřik
3	máčení, koupel, ponoření
4	tlaková technologie
5	tlaková technologie

Nátěr a postřik patří mezi nejjednodušší aplikace chemické ochrany dřeva, které nemají nárok na hluboký průnik do dřeva.

Aplikují se především na hotové prvky před zabudováním do stavby, lze je ale použít i na již zabudované prvky (viz Obr. 8). [37, 49, 62]



Obr. 8 - Postřik dřeva chemickým prostředkem [49]

Máčení se provádí ve vanách a nádržích. Výhodou této metody je to, že ochranný prostředek může penetrovat do materiálu skutečně celým povrchem dřevěného prvku. Na druhou stranu nelze tuto metodu aplikovat u zabudovaných prvků. [49, 62]

Vakuotlaká impregnace je technologie, která se provádí za účelem prodloužení životnosti a ochrany dřeva proti hnilobě. Tato metoda využívá zvýšeného tlaku a případně vakua pro vtlačení ochranného prostředku do dřeva, který tak proniká do větších hloubek. [49, 62]

5.3.2. Chemické ochranné prostředky pro ošetřování dřeva

Chemické ochranné prostředky by měly splňovat tyto požadavky [3, 62]:

- musí mít opravdu ochranné (např. fungicidní, insekticidní) vlastnosti;
- rovnoměrné a rychlé pronikání při aplikaci do dřeva;
- nesmí nepříznivě ovlivnit parametry dřeva;
- nesmí být toxické a musí splňovat ekologické požadavky – nesmí škodit lidskému zdraví a živočichům během celé své doby použití a musí zajistit bezpečnou likvidaci.

Rozeznáváme chemické prostředky různého typu. Jedná se především o [15, 19, 37]:

- **fungicidy** – jsou přípravky, které chrání dřevo před působením dřevokazných hub a plísní, a to zejména na bázi sloučenin borů, amoniových sloučenin a různých karbamátů;
- **baktericidy** - chrání dřevo před jeho poškozením různými druhy bakterií. Provádí se především pomocí olejů s tvrdými vosky;
- **insekticidy** – zejména používaná kyselina boritá, zabraňují degradaci dřeva způsobené dřevokazným hmyzem;
- **retardéry hoření** – jsou prostředky (síran amonný, chlorid amonný), které snižují hořlavost dřeva. Při hoření dřeva vzniká na povrchu dřeva tlustá nehořlavá vrstva, která chrání dřevo proti působení ohně a tepla. Nelze je použít pro hlubší impregnaci;
- **inhibitory odpuzující vodu, UV záření a chemikálie**. Mezi tyto látky řadíme především nátěry na bázi modifikovaných alkydů a polyakryláty.

5.3.3. Postupy provádění ochrany dřeva

Ochranou dřeva rozumíme opatření, která slouží ke zlepšení vhodných vlastností dřeva. Můžeme ošetřovat rostlé dřevo nebo již hotové výrobky a to v následujících krocích. [1, 3, 57, 62]

1. Příprava dřeva:

Do této fáze patří odstranění kůry a lýka, očištění od prachu, třísek, pilin a různých předchozích nátěrů. Následuje ohoblování, dlabání a vyřezávání dřeva na požadovaný tvar.

Kontrolována je také vlhkost dřeva, kterou je možné upravovat (sušení), a stav dřeva, tzn., jestli je bez škůdců. [57]

2. Provádění ochrany:

Provádění ochrany se vykonává pomocí tlakové, beztlakové nebo speciální metody. [57]

Tlakové metody mají za následek hlubší proniknutí ochranné látky do dřeva.

Závisí však na druhu dřeviny, zejména pak na její impregnovatelnosti, ale i pevnosti a tvrdosti. Mezi lehce impregnovatelné dřeviny řadíme borovici, modřín a buk a k těžce impregnovatelným patří smrk, jedle a dub. [57]

Beztlakové metody patří k nejméně účinným, jelikož je chráněn pouze povrch dřeva.

Speciální metody se provádějí ve většině případů až u zabudovaných dřevěných konstrukčních prvků. [57]

Mezi tyto metody patří **injektáž**, která se provádí do předem připravených vrtů a vpichů.

Bandážování, což je přesun ochranné látky z míst s vyšší koncentrací do míst, která mají koncentraci nižší. Ochranná látka (ve formě pasty) se nanáší na povrch dřeva a při působení osmózy a difuze proniká hlouběji do dřeva.

A **panelová impregnace**, u které je látka ve formě roztoku aplikována do povrchu dřeva pomocí tkaniny. Tento způsob aplikace je delší, trvá až několik týdnů. [57]

3. Kontrola kvality impregnace:

Kvalita impregnace se kontroluje pomocí výrobních zkoušek (prováděné přímo ve výrobním závodu), prověřovacích zkoušek (kontroluje odběratel při předávání), ověřovacích zkoušek (během používání na již zabudovaném dřevu) a rozhodovacích zkoušek (při rozporu mezi odběratelem a výrobcem). [57]

5.4. Modifikace dřeva

Tento způsob úpravy dřeva představuje účelné zlepšení některých pozitivních vlastností dřeva (pevnost, pružnost, malá hmotnost) a zároveň zmírnění projevu vlastností negativních (objemová nestálost, odolnost proti škůdcům).

Modifikaci dřeva provádíme mechanickým, termickým, chemickým a biologickým způsobem. Cílem všech uvedených metod je cílená změna struktury dřeva.[16, 23, 24]

5.4.1. Mechanická modifikace

Jedná se především o modifikaci tlakem, při které dochází k lisování dřeva. Při tomto procesu vznikají deformace dřeva, které jsou ve většině případů trvalé. Uvedené zásahy mají za následek zlepšení mechanických vlastností především díky zvýšení hustoty, které je zapříčiněno odstraněním vzduchových dutin.

Je však důležité, aby při tomto procesu nedošlo k překročení pevnosti materiálu.

To by mělo za následek narušení struktury dřeva, a tím i zhoršení mechanických parametrů. [23, 24, 47]

Při tomto procesu může vznikat i ohýbatelné dřevo, které se ale při zvýšení vlhkosti v jeho okolí může vrátit do svého původního tvaru. [23, 24, 47]

5.4.2. Chemická modifikace

Chemická modifikace využívá chemických látek, u nichž přepokládáme, že nemají přímý biocidní, nebo jiný ochranný účinek. Tyto látky po aplikaci mohou zůstat v lumenech buněk nebo naopak pronikají do buněčných stěn, kde může docházet k reakci s některými složkami. [15, 23]

Chemická modifikace se dělí podle lokalizace modifikačních látek ve struktuře dřeva a jejich schopností vytvářet chemické vazby.

A to na modifikační látku umístěnou v buňkových lumenech dřeva, modifikační látku umístěnou ve stěnách buněk bez chemické vazby a modifikační látku umístěnou ve stěnách buněk s chemickou vazbou. [15]

Příkladem lze uvést **modifikaci acetylací**, při které dochází k působení acetanhydridu v buněčných stěnách za vzniku hydroxylových skupin. Takto modifikované dřevo je rozměrově stabilnější a trvanlivější, zároveň dosahuje vysoké odolnosti proti UV záření. [46]

Modifikace amoniakem využívá působení čpavku ke změně rovnovážné vlhkosti, čímž se zvyšuje bod nasycení vláken a navlhavost dřeva. Po tomto ošetření dřevo ztmavne. [46]

5.4.3. Termická modifikace

Při tepelné úpravě dochází ke změnám složek celulózy, hemicelulózy a ligninu vlivem zvýšené teploty.

Nejprve dochází k rozkladu hemicelulózy a následně štěpení ligninu za současného vytváření látek nových nerozpustných, případně toxických nebo odpuzujících biologické škůdce. Výsledkem je u tepelně upraveného dřeva zejména menší počet OH skupin. [14, 15]

Při této úpravě dochází ke zvýšení objemové stability dřeva, a tím k redukci případné vlhkosti ve dřevě, s čímž souvisí i snížení koeficientu bobtnání a sesychání. Dále mezi kladné vlastnosti této modifikace je zvýšení odolnosti proti škůdcům, především dřevokazným houbám. Při tomto procesu se mění mechanické i fyzikální parametry dřeva a zlepšuje se rozměrová stabilita dřeva.[15, 47]

Dřevo po tepelné modifikaci je o několik odstínů tmavší (viz Obr. 9) a vůně je daleko výraznější. Intenzita barevné změny a vlastnosti termodřeva jsou dány teplotou, dobou vystavení působící teplotě a modifikačnímu prostředí s nebo bez obsahu kyslíku. [58]



Obr. 9 - Změna barvy dřeva po tepelné modifikaci [58]

Tuto modifikaci můžeme rozdělit do několika teplotních fází [58, 59]:

1. Prudké ohřátí dřeva na 100 °C a postupné zvyšování na 130 °C. V této fázi především dochází ke snížení vlhkosti dřeva.
2. Zvýšení teploty až na cca 200 °C. V této fázi dochází k vlastní tepelné úpravě.
3. Použití páry k ochraně dřeva před jeho vznícením.

Při vyšších teplotách může být redukována pevnost dřeva, to však závisí na druhu dřeviny. [15]

5.4.4. Biologická modifikace

Je založena na antagonistických vztazích mezi biologickým škůdcem dřeva a jiným biologickým činitelem, který dřevo nepoškozuje, nebo jej poškozuje jen mírně.

Speciálním případem této ochrany je enzymatická ochrana dřeva.

„Enzymatické metody“ principiálně spočívají ve snížení podílu – OH fenolických skupin v ligninu, ale i v hemicelulózách a celulózách pomocí oxidačních a oxidačně redukčních enzymů. [15, 47]

6. Mineralizace dřeva

Mineralizace dřeva vychází z principu petrifikace dřeva, což je přirozený jev, vznikající za specifických podmínek. V rámci laboratorního výzkumu je však zkoumána i možnost simulace mineralizace dřeva pomocí mineralizačních látek, nejčastěji na bázi SiO_2 . Minerální částice v tomto případě pronikají částečně nebo zcela do dřevní hmoty, kde dochází k jejich depozici, či případně k reakci s buněčnou stěnou. [14]

Aplikace mineralizační látky tak může mít charakter ošetření, či dokonce modifikace. Míra nasycení dřeva látkou závisí zejména na druhu dřeva a jeho struktuře a vlhkosti.

Během modifikace mineralizací nedochází k viditelným změnám dřeva, ale při bližším mikroskopickém pohledu lze najít změny v matici dřeva. [14, 15]

Mineralizace se provádí především za účelem zlepšení některých vlastností dřeva (nasákavost, odolnost proti škůdcům) a z důvodu zachování stability dřeva. [14, 17]

6.1. Přirozená mineralizace

V tomto případě dřevo hluboko v zemi nejčastěji obklopené zeminou nebo minerální vodou přijímá minerální složky. Další možností je mineralizace ve stavbě, kdy k mineralizaci dřeva mohlo dojít při kontaktu s hlínou nebo jíly.

Projevem přirozené mineralizace dřeva je petrifikace, což je zpevnění dřeva, které je degradováno především biotickými činiteli. [14, 15, 23]

Principem petrifikace je vyplnění chybějících částí dřeva především křemičitými materiály, které mají za následek změnu v původní struktuře dřeva. [14, 36, 51]

6.2. Umělá mineralizace

Při umělé mineralizaci dřeva se nejčastěji využívá cílená aplikace mineralizačních látek, nejčastěji na bázi křemičitanů, které se aplikují buď pomocí nátěrů, nástríků, máčení, vakuotlakých, ale i dalších specifických metod, jejichž cílem je penetrace prostředku do co největších hloubek. [14, 15]

Aplikací mineralizace lze docílit změny určitých vlastností dřeva, zejména pak redukci příjmu vody, s tím související objemové změny a povětrnostní stárnutí. Dotčeny ale můžou být i pevnosti, tvrdosti nebo odolnosti proti biologickým škůdcům. [15]

Zmíněná mineralizace pak může nabývat charakteru ošetření, jehož cílem je vytvořit na dřevě hydrofobizační povrch, nebo modifikace, jejímž cílem je změna struktury materiálu, a tak i parametrů dřeva. [15]

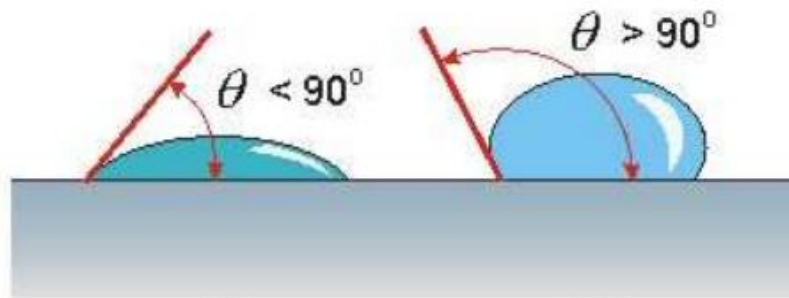
6.3. Aplikace křemičitanů

Cílem aplikace těchto látek je především zvýšit odolnost dřeva proti působící vodě, klimatickým vlivům (vítr, déšť, sníh), nebo biologickým škůdcům. [14, 17, 23, 25]

6.3.1. Hydrofobizační ošetření materiálu

Hydrofobizace má za následek vytvoření takové vrstvy na povrchu materiálu, která odpuzuje vodu. Použitý prostředek na povrchu proniká do dřeva, a tím vytváří tenkou bezbarvou vrstvu, která zabraňuje prostupu vody v kapalném skupenství, ale zároveň by neměla bránit prostupu plynů. [31]

Takovéto ošetření dřeva způsobuje změnu ve vlastnostech dřeva, především zvyšuje jeho povrchové napětí a tím i úhel smáčení - kapky na povrchu (viz Obr. 10). [31, 63]



Obr. 10 - Úhel smáčení u nehydrofobizovaného a hydrofobizovaného povrchu [63]

Kvalita hydrofobizace závisí na druhu použité látky a na hloubce proniknutí.

Čím hlubší penetrace, tím lepší životnost. [31, 63]

Hydrofobizační látka by měla obsahovat minimálně 5 % aktivní složky, která by měla odolávat alkalickému prostředí. Mezi hydrofobizační látky řadíme především nepolární sloučeniny jako vosky, oleje anebo roztoky na bázi vodní emulze. Dále zde patří silikony, roztoky pryskyřic v organickém rozpouštědle a emulze pryskyřic, které zvyšují hydrofobitu.

Materiály pro hydrofobizaci mají účinek především u jehličnatého dřeva, které má sklony ke zvýšené vlhkosti. [15, 17, 36]

Redukcí vlhkosti lze také docílit zlepšení tepelně izolačních vlastností a zejména trvanlivosti materiálu. Jejich nevýhodou může být snížení propustnosti dřeva pro plyny a změna barvy při kontaktu s vodou. [15, 25]

6.3.2. Modifikace materiálu křemičitany

Modifikace křemičitany má za následek změnu struktury dřeva a v jeho buňkách vznikají organické nebo anorganické křemičité sítě a gely SiO_2 .

Tyto látky dokážou vytvořit ochranou bariéru na vnitřním povrchu dřeva, což má za následek podobné změny vlastností jako v případě ošetření, konkrétně redukcí příjmu kapalné vody, zlepšení trvanlivostních parametrů, ale při dlouhodobém působení roztoku dochází k redukcí pevnosti a zvýšení hygroskopicity.

Nicméně díky změně struktury je životnost modifikace v porovnání s ošetřením větší. [14, 15, 17]

K těmto účelům se nejčastěji používají křemičité látky ve formě [17]:

- **Silikátů**, což jsou sloučeniny anorganických křemičitých kyselin. K modifikaci se používají silikáty na bázi vodního skla. Jejich výhodou je zvýšení odolnosti proti ohni a vodě. Nevýhodou je snížení pevnosti dřeva v ohybu;
- **Silikonů**, představujících polymerní sloučeniny, které se do dřeva aplikují jako emulze za účelem zvýšení odolnosti proti vodě;
- **Chlór-silanů**, u nichž chlorid křemičitý reaguje s vodou na kyselinu křemičitou, za vzniku nežádoucí kyseliny chlorovodíkové;
- **Alkoxy-silanů**, které tvoří ve dřevě gelovou síť, u které nevznikají žádné vedlejší látky, které by degradovaly dřevo;

- **Organo-silanů**, což jsou organo-křemičité monomery, obsahující minimálně jednu kovalentní vazbu Si (křemík) – R (uhlovodík), a které jsou schopné reagovat s organickými složkami.

6.3.3. Organo-silany

Tyto látky obsahují minimálně jednu vazbu křemíku s uhlíkem, což má za následek vysoce užitečné chemické reakce.

Mezi reaktivní organo-silanové skupiny patří vinylová, izokyanátová a aminová skupina.[17, 23, 25]

Organosilany představují hojně využívanou skupinu látek, která se vyrábí pomocí [25]:

- **přímé syntézy** – reakce směsi křemíku a mědi s metylchloridem za vzniku kapalné silanové směsi při teplotě cca 250 °C;
- **Grignardovy syntézy** – založené na principu převedení organické skupiny na křemík;
- **hydrosililace** – z dvojné vazby silanu a vodíku vznikají produkty s vazbou trojnou, používá se zejména pro syntézu pomocí vinylových skupin.

Organo-silany se používají jako spojovací prostředek u kompozitních materiálů, který má za následek zvýšení pevnosti, nebo také jako adhezní činidlo.[36]

Jedním z často používaných přípravků na bázi organo-silanu je i **Lukofob 39**.

Tato převážně žlutohnědá chemická látka se používá zejména pro mineralizaci omítek, betonů a různých střešních krytin, ale je testována také pro použití na dřevo. Výrobce ovšem aplikaci na dřevo přímo nedoporučuje. [26]

Hlavní účinnou složkou přípravku je methylsilanolát draselný, jehož obsah se pohybuje v rozmezí 17-23%. Vlastnosti přípravku deklarované výrobcem jsou v tabulce 5.

Pro žádaný kvalitní konečný efekt je důležitý způsob aplikace. [26]

Tab. 5 - Vlastnosti Lukofobu 39[26]

VLASTNOST	HODNOTA
vzhled	kapalina
barva	žlutá až žlutohnědá
zápach	bez
bod tání/tuhnutí	-10 °C
bod varu	100 °C
hořlavost	nehořlavý
výbušnost	nevýbušný

Výrobce udává následující pokyny pro aplikaci [26]:

1. S látkou se musí zacházet opatrně, jelikož má agresivní účinky na lidskou pokožku. Hrozí poleptání kůže a očí.
2. Doporučuje se vhodné ředění s destilovanou vodou, převážně 1:10 (1:100 pro dlouhodobé máčení). Při nižší koncentraci přechází ve slabší alkálii (předtím pH 13).
3. Prostředek se nanáší v takovém množství, ve kterém ho materiál stále nasakuje. Pokud již stéká, je nutné s aplikací přestat. Účelem není vytvořit na povrchu vrstvu, ale zajistit proniknutí přípravku do větších hloubek.
4. Takto ošetřený materiál je odolný proti dešti, má lepší trvanlivost a TI vlastnosti.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7. Experimentální ověření vlivu mineralizačního ošetření na degradaci dřeva ve stavbě

V této části diplomové části se budu věnovat experimentální zkoušce, zaměřené na ověření vlivu mineralizačního ošetření na degradaci dřevěných prvků u vybraných druhů dřevin.

7.1. Příprava vzorků

Pro zkoušku, při které jsem se snažila prokázat vliv mineralizačního přípravku na dřevo, byly vybrány tři druhy dřevin - dvě jehličnaté dřeviny (smrk, modřín) a jedna listnatá (buk). Tyto dřeviny jsem si vybrala proto, že stavba, kde byly vzorky umístěny, je z nich postavená. Použití těchto dřevin pro výrobu vzorků částečně simuluje chování dřevin zabudovaných na stavbě.

Tyto vzorky byly následně ošetřeny a podrobeny různým druhům analýz a zkoušek, jmenovitě byla použita termická analýza, hodnocena pevnost v tlaku ve směru vláken a rázová houževnatost.

Jednotlivé dřeviny, mineralizační prostředek a metody zkoušení jsou vysvětleny a popsány v následujících kapitolách.

7.1.1. Dřevo a výroba vzorků, mineralizační látka

Jak již bylo uvedeno, v praktické části byly použité jehličnaté dřeviny – smrk ztepilý a modřín opadavý a zástupce listnatých dřevin – buk lesní.

Smrk ztepilý patří mezi jehličnatou neopadavou borovicovitou čeled', dorůstá výšky až 50 metrů a jeho borka je světlehnědá. Přednostně se vyskytuje na místech s vlhkou a hlinitou půdou a špatně snáší sucho, proto se mu hojně daří především ve střední Evropě. Smrky najdeme především v horských oblastech uvnitř lesa. [42]

V České republice se používá velice často, díky své pružnosti, pevnosti a lehkosti.

Také je dobře štípatelný a houževnatý. Smrkové dřevo se ve stavebnictví používá především na střešní interiérové konstrukce, jelikož v exteriéru není tak trvanlivé.

Toto dřevo se dobře povrchově upravuje. Je vhodné k natírání, barvení, ale i k moření, které zvýrazňuje texturu dřeva. Naopak impregnace je u smrku velice obtížná.

Na stavbě je smrkové dřevo použité do vnitřních stěn a do některých částí stropu a krovu. [42]

Buk lesní je opadavý listnatý strom bukovité čeledi, který dorůstá výšky 45 metrů. Jeho růst je velmi pomalý, zralý je až po 70 - ti letech. Roste na středně vlhkých půdách, které mají dostatek živin. Jeho kůra je hladká a šedá. [42]

Bukové dřevo je pevné, velmi tvrdé, ale zároveň těžké a málo pružné. Jeho využití je především v nábytkářství a truhlářství, kvůli jeho dobré ohebnosti po tepelné expozici. Jeho velkou nevýhodou je, že špatně odolává biologickým škůdcům.

Z bukového dřeva je na stavbě vytvořená podlaha v jednotlivých místnostech. [42]

Modřín opadavý patří mezi jehličnaté stromy borovicové čeledi a je odlišný tím, že v zimě opadá. Dorůstá se výšky 50 metrů a dožívá se až 550 let. Najdeme ho především na slunných místech na hlinité půdě. [42]

Modřínové dřevo je tvrdé, trvanlivé a poměrně pružné, proto se používá k výrobě především obkladů a méně namáhaného nábytku. Po ošetření (napuštění, natření) modřínové dřevo ztmavne do červena a je dobře opracovatelné. Jeho výhodou je dobrá odolnost proti napadení biologickými škůdci a dobrá trvanlivost ve vodě.

Z modřínového dřeva lze na stavbě najít některé trámy nebo podpěrné sloupky. [42]

Z těchto vybraných dřevin byly vyrobeny vzorky potřebné k testování vlivu mineralizace na dřevo. V následující tabulce 6 je vypsáno množství potřebných vzorků připravených pro jednotlivé zkoušky. Tyto vzorky byly ponechány v laboratorním prostředí s teplotou $20 \pm 1^\circ\text{C}$ a relativní vlhkostí vzduchu $50 \pm 5\%$ do ustálení hmotnosti cca po dobu jednoho týdne. [2]

Po této době jsem je řádně označila, zvážila a změřila jejich rozměry.

Pro testování mechanických parametrů byly použity pravoúhlé vzorky (hranoly) a to ve dvou velikostních modifikacích [2]:

- menší vzorky, „Typu A“ pro zkoumání pevnosti v tlaku dosahovaly rozměrů 20 x 20 x 30 mm (R x T x L);

- větší vzorky „Typu B“ pro hodnocení rázové houževnatosti s rozměry 20 x 20 x 300 mm(R x T x L).

Z důvodu anizotropie dřeva a výskytu různých nehomogenit byl zvolen počet vzorků v jedné sadě 10 ks, čímž došlo v přiměřené míře k redukci rozsahu zkoušek v porovnání s normovými postupy, ovšem stále je možné tyto hodnoty následně statisticky zpracovat.

Tab. 6 - Počet zkoušených vzorků

DŘEVINA	VZORKY TYP A	VZORKY TYP B
BUK LESNÍ	130	130
MODŘÍN OPADAVÝ	130	130
SMRK ZTEPILÝ	130	130

V rámci každé použité dřeviny byly vzorky typu A a B dále rozděleny do 13 sad (viz Tab. 7). Jednotlivé typy ošetření jsou popsány v kapitole 7.1.2.

Tab. 7 - Vzorky pro jednotlivá ošetření a expozice

UMÍSTĚNÍ	POČET VZORKŮ
LABORATOŘ	10
STAVBA – REFERENČNÍ – INTERIÉR	10
STAVBA – REFERENČNÍ – EXTERIÉR	10
STAVBA – REFERENČNÍ – EXTERIÉR - ZEMINA	10
STAVBA – OŠETŘENÍ A - INTERIÉR	10
STAVBA – OŠETŘENÍ A - EXTERIÉR	10
STAVBA – OŠETŘENÍ A – EXTERIÉR - ZEMINA	10
STAVBA – OŠETŘENÍ B - INTERIÉR	10
STAVBA – OŠETŘENÍ B - EXTERIÉR	10
STAVBA – OŠETŘENÍ B – EXTERIÉR - ZEMINA	10
STAVBA – OŠETŘENÍ C - INTERIÉR	10
STAVBA – OŠETŘENÍ C - EXTERIÉR	10
STAVBA – OŠETŘENÍ C – EXTERIÉR - ZEMINA	10
CELKEM	130

K ošetření vzorků jsem použila mineralizační prostředek Lukofob 39, který sice není primárně určen k aplikaci na dřevo, ale pro aplikaci na dřevo byl již testován – viz odkaz [14]. Podrobné informace o tomto přípravku jsou popsány v kapitole 6.3.3.

Tento přípravek jsem naředila s destilovanou vodou v poměru 1:9 (100 g Lukofobu na 900 g destilované vody). Při manipulaci s roztokem jsem použila bezpečnostní rukavice a podkladní fólie, jelikož Lukofob 39 dráždí kůži a leptá kovové předměty. [26]

Ihned po ošetření jsem všechny vzorky opět zvažila a zkontrolovala navýšení hmotnosti. Následně byly vzorky ponechány v exteriérové sušárně do ustálení hmotnosti. Takto připravené vzorky byly nachystané k odvozu na stavbu.

7.1.2. Použité metody ochrany dřeva

Dřevo je velmi porézní materiál a je vhodné ho ošetřit, především, zdali má být vystaveno působení zvýšené vlhkosti nebo dokonce uloženo v exteriéru. Při ošetřování dřeva je důležité, aby dřevo bylo čisté, bez nečistot a mastnot, aby se zajistilo co nejefektivnější působení ochranného prostředku.

Na ošetření vzorků jsem zvolila tři metody ošetření.

Ošetření A je nátěr. Lukofob jsem na vzorky nanášela v jedné vrstvě do úplného nasycení. Druhá vrstva nátěru vytvářela na vzorcích kapičky, tudíž pro vytvoření hydrofobního efektu stačil pouze jeden nátěr.

Ošetření B je máčení vzorků v předem připraveném roztoku po dobu 1 hodiny. Jelikož dřevo má nižší objemovou hmotnost než je hustota roztoku, tak vzorky v nádobě musely být zatíženy.

Ošetření C je taktéž máčení, ovšem s dobou expozice 4 hodiny.

Po aplikaci Lukofobu příslušnou zvolenou ochranou a následném vážení jsem u dřeva pozorovala hmotnostní přírůstky, díky nimž lze dopočítat i příjem mineralizační látky a následně i aktivní složky roztoku.

Pro výpočet příjmu ochranného prostředku/aktivní složky jsem použila vzorec (3), kdy koncentrace roztoku ochranného prostředku Lukofobu 39 je 10% a aktivní složky v roztoku jen 2 %.[14]

$$X = \frac{(m_{PO} - m_{PRED}) * C}{V_0 * 100} \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (3)$$

, kde m_{PO} ...hmotnost vzorku po ošetření [kg];

$m_{\text{PŘED}}$...hmotnost vzorku před ošetřením [kg];

c ...koncentrace ochranného prostředku (aktivní složky) [%];

V ...objem vzorku před ošetřením [m³].

V následující tabulce 8 je vypočítaný průměrný příjem ochranného prostředku pro jednotlivé velikosti vzorků, jednotlivé druhy dřevin a metody ošetření. Jak je vidět značných příjmů dosahuje bukové a smrkové dřevo, které obecně díky své struktuře jsou schopny přijímat vodu a vodné roztoky.

A vyšší příjem látky je u menších vzorků, protože předpokládáme jejich plné prosycení (Typ A).

Tab. 8 - Hodnoty příjmu ochranného přípravku a aktivní složky roztoku

PŘÍJEM ROZTOKU A AKTIVNÍ SLOŽKY ROZTOKU [kg.m⁻³]								
SMRK			BUK			MODŘÍN		
nátěr	Typ B	1,5 0,03	nátěr	Typ B	1,3 0,03	nátěr	Typ B	0,5 0,01
	Typ A	4,3 0,09		Typ A	2,7 0,05		Typ A	3,1 0,06
máčení po dobu 1 hodiny	Typ B	5,2 0,1	máčení po dobu 1 hodiny	Typ B	8,3 0,17	máčení po dobu 1 hodiny	Typ B	4,3 0,09
	Typ A	14,4 0,29		Typ A	12,6 0,25		Typ A	10,4 0,21
máčení po dobu 4 hodin	Typ B	7,4 0,15	máčení po dobu 4 hodin	Typ B	12,8 0,26	máčení po dobu 4 hodin	Typ B	5,4 0,11
	Typ A	17,2 0,34		Typ A	20,4 0,41		Typ A	11,7 0,23

Pozn. Průměrné hodnoty jsou vypočítané pro každou dřevinu, velikost vzorku a druh ošetření z 10 vzorků.

Je zde vidět, že u všech ošetření nejméně aktivní složky absorbovaly vzorky modřínového dřeva, pro nějž je charakteristická horší impregnovatelnost v porovnání s dalšími použitými dřevinami.



Obr. 11 - Ošetřené vzorky dřeva

Zajímavostí je, že dřevěné vzorky po ošetření změnili svou barvu, po zaschnutí byli lehce nažloutlé (viz Obr. 11).

7.2. Uložení vzorků

Takto připravené vzorky jsem ihned po ošetření vložila do exteriérové sušárny bez regulace vzduchu a uchovávala zde do ustálení hmotnosti po dobu cca 1 týdne. Tato klimatizace byla zvolena proto, že výpary Lukofobu reagují s některými kovovými materiály, což by mohlo způsobit korozi laboratorního vybavení.

Po této době jsem vzorky umístila do laboratoře s teplotou $20 \pm 1^\circ\text{C}$ a relativní vlhkostí vzduchu $50 \pm 5\%$ a to opět do ustálení hmotnosti.

Před tím, než jsem dřevěné vzorky přepravila na místa uložení, jsem je zvažila, abych zjistila změny hmotnosti. Zejména díky odpaření vodné části roztoku se hmotnost vzorků zmenšila, a to přibližně o polovinu.

Hmotnosti vzorků se průměrně zmenšili o polovinu hmotnosti odpovídající příjmu roztoku.

Takto připravené vzorky včetně vzorků referenčních jsem na začátku měsíce května přepravila na místo uložení, přesněji do Velkých Karlovic.

Vzorky, které měly být uloženy v interiéru, jsem rozmístila do krytého podkroví starého chléva (viz Obr. 12).



Obr. 12 - Uložení vzorků v interiéru

Vzorky, které měly být v exteriéru, ale ne v kontaktu se zemí, jsem umístila do výšky asi 1,5 metru nad zemí na štítovou severovýchodní stranu objektu (viz Obr. 13).



Obr. 13 - Uložení vzorků v exteriéru

A vzorky určené k expozici při styku se zemí jsem položila podél stěny na západní straně objektu tak, aby se dotýkaly země stejnou plochou (viz Obr. 14).

Dřevěné vzorky jsem dobře zajistila proti možnému pohybu, především ty na zemi, jelikož byly uloženy ve svahu.



Obr. 14 - Uložení vzorků v exteriéru v kontaktu se zemí

Vzorky jsem uložila dne 6. 5. 2018 při slunečném počasí a teplotě 25 °C. Každý vzorek jsem opět zvážila na laboratorní váze s přesností 0,1 g.

7.3. Monitorování vzorků v průběhu jejich expozice na stavbě

Dřevěné vzorky jsem monitorovala v průběhu půl roku, tedy od května do října 2018 (viz Tab. 9).

Každý měsíc přibližně ve stejný den, jsem zaznamenala teplotu vzduchu a stav počasí. Vzorky jsem zkontrovala, zkoumala jejich případnou změnu barvy, ale především změny v hmotnosti.

Průměrné procentuální hodnoty vzorků v jednotlivých expozicích u jednotlivých dřevin jsou obsaženy v Příloze 1.

Během této doby uložení došlo ke ztrátě některých vzorků, příčiny mohou být následující:

- v exteriéru při styku se zemí je příčinou především pohyb hadů, kun a psů nebo nepříznivé počasí (odplavení během tří velkých přivalových dešťů);
- v interiéru je příčinou hlavně pohyb koček a kun.

Tab. 9 - Stav počasí během monitorování vzorků

MĚSÍC	TEPLOTA [°C]	POČASÍ
květen	25	slunečno
červen	30	slunečno
červenec	26	slunečno
srpen	34	slunečno
září	14	deštivo
říjen	19	polojasno

Mezi kontrolou v květnu a červnu vzorky změnilы hmotnost nejvíce za celou dobu zkoumání. V oblasti bylo zaznamenáno větší množství dešťů, a tudíž významně narostla i vlhkost vzorků. V té době došlo i ke zmíněným ztrátám vzorků.

Interiér

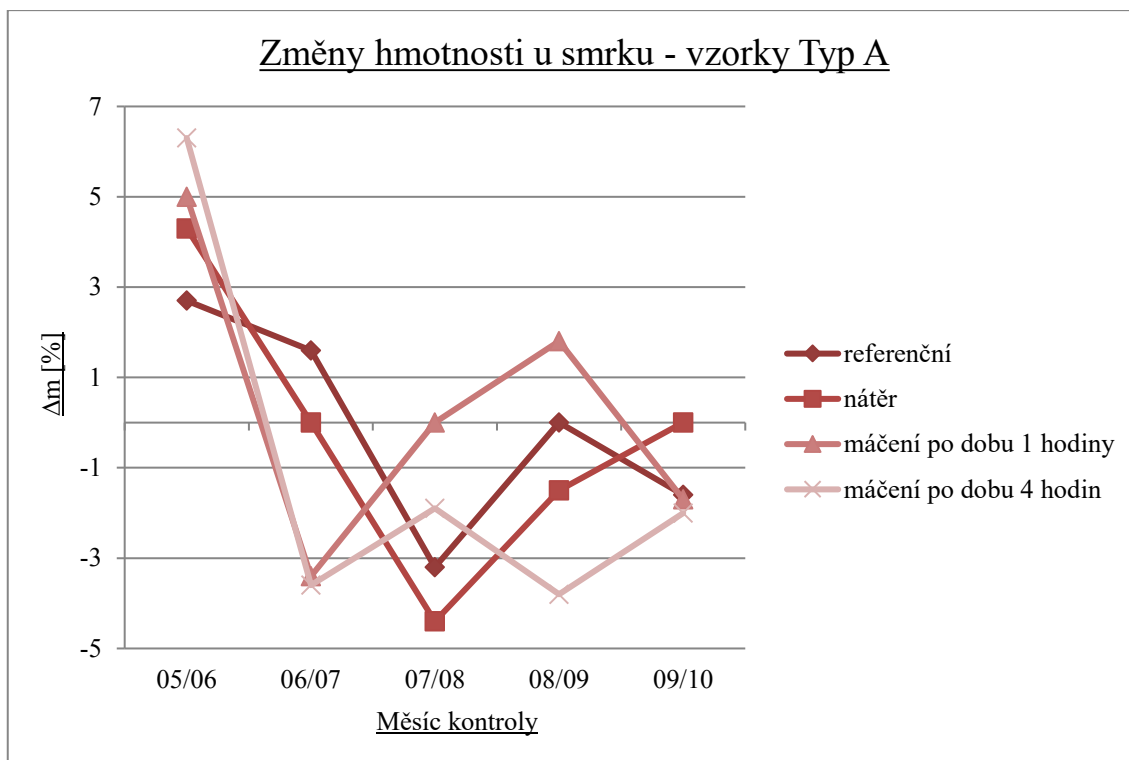
Lze konstatovat, že vzorky v interiéru byly před působením povětrnostních vlivů poměrně dobře chráněny. Během prvního měsíce navýšily svou hmotnost především vzorky referenční, které ale v průběhu dalších měsíců měnily svou hmotnost jen minimálně.

Ošetřené vzorky měnily své hmotnosti jen výjimečně, většina vzorků měla po dobu posledních 3 měsíců hodnoty hmotnosti přibližně stejné s jen mírným poklesem.

Jen ojediněle se vyskytovaly vzorky s výraznějšími hmotnostními změnami, u nichž je příčinou výskyt různých vad (trhliny, suky), eventuálně chyby v provedeném ošetření. Vzhled interiérových vzorků se nezměnil skoro vůbec, nepůsobilo na ně totiž sluneční světlo ani vítr a déšť. Jediné znečištění bylo od výkalů kun a koček.

Na Obr. 15 je vidět, že hmotnost smrkového dřeva se především snížila u referenčních vzorků a také těch, které byly máčeny v roztoku po dobu 4 hodin.

V této expozici jsem sledovala relativně správný účinek mineralizačního přípravku. Hygroskopicitu materiálu – u všech použitých dřevin se výrazně nezměnila. Na základě pravidelných kontrol lze vyloučit, že by docházelo ke kontaktu s kapalnou vodou.

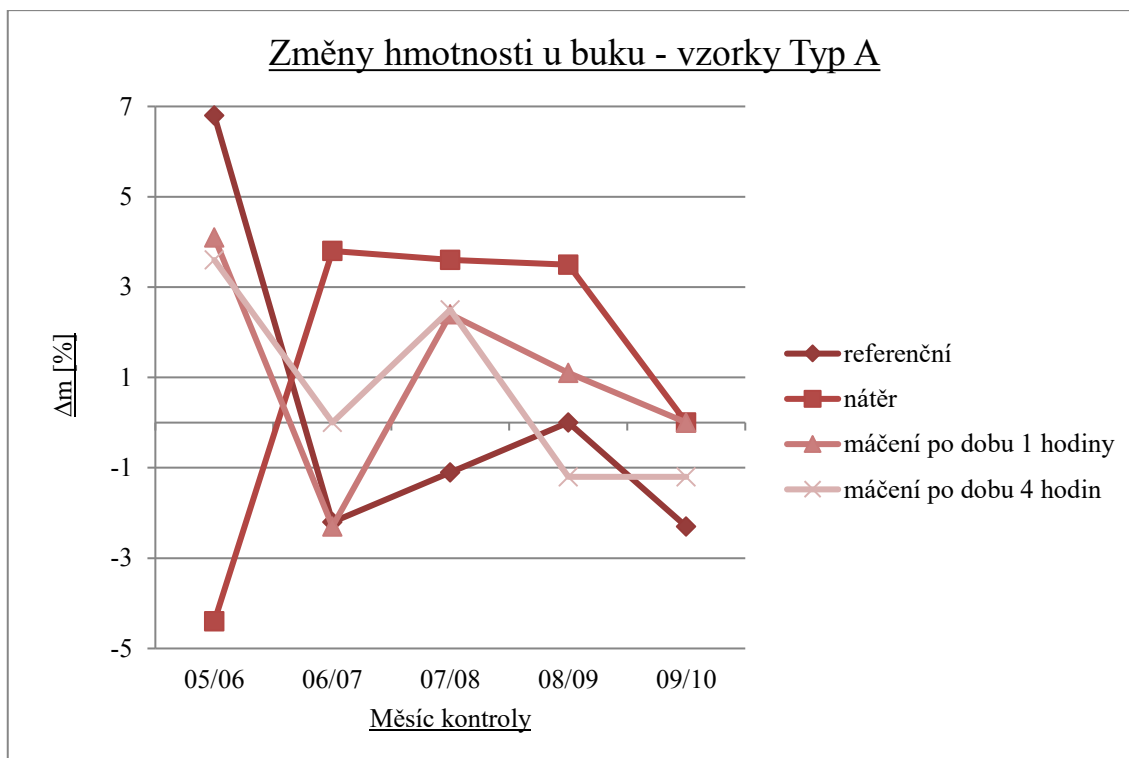


Obr. 15 - Hmotnostní změny Δm vzorků Typu A u smrkového dřeva

Exteriér bez kontaktu se zemí

U vzorků v exteriéru už jsem zaznamenávala patrné změny v hmotnosti, ale také ve vzhledu vzorků. Hodnoty hmotnosti se měnily zejména v závislosti na počasí mezi prováděnými kontrolami. Pokud bylo více deštivých, vlhkých dní, tak vzorky byly tmavší a po hmatu více vlhké. Rostla taktéž jejich hmotnost, sice ne výrazně, ale změny byly taktéž patrné. [3]

Na tomto místě uložení jsem pozorovala, že nejlépe odolávají působícím klimatickým vlivům vzorky ošetřené máčením - především ošetření B. (viz Obr. 16).



Obr. 16 - Hmotnostní změny Δm u vzorků Typu A u bukového dřeva

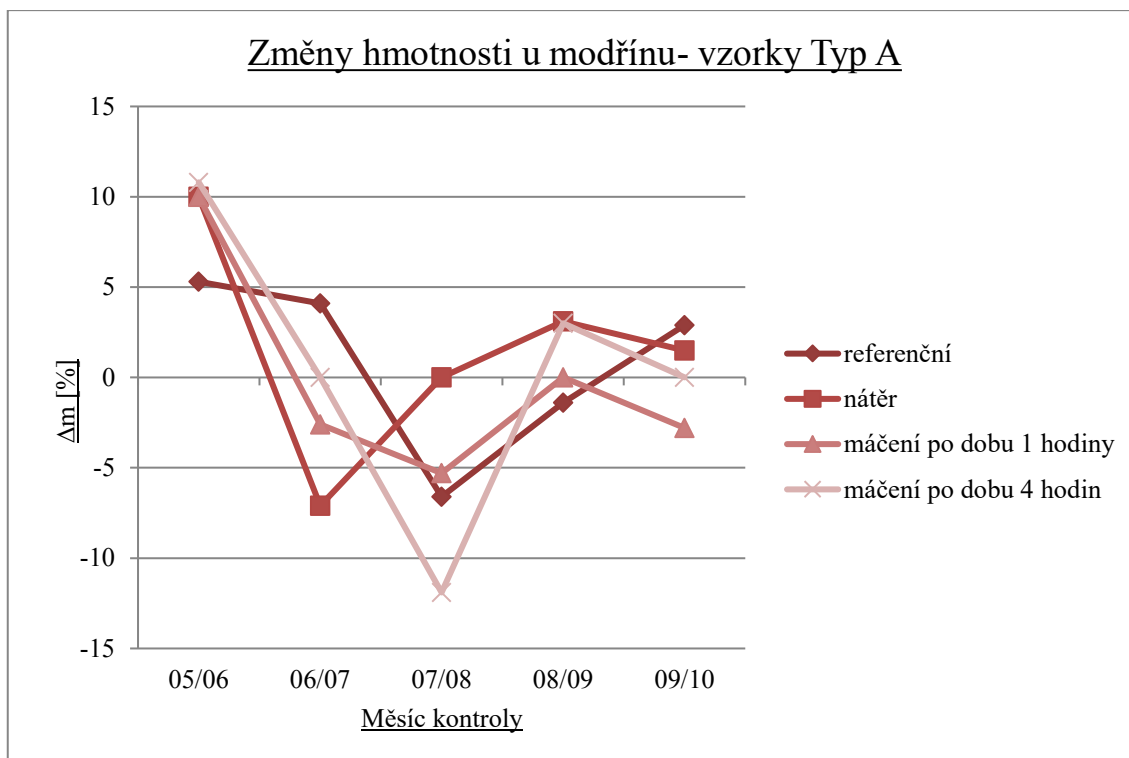
Exteriér v kontaktu se zemínou

U těchto vzorků jsem pozorovala největší změny. Hmotnosti se každou mou kontrolu měnily, bez významného ohledu na počasí, jelikož byl zajištěn kontakt se zemí.

Jeden měsíc se hodnoty hmotností zvýšily a druhý měsíc rapidně klesly. Vzorky byly po hmatu neustále vlhké. Jejich vzhled byl také ovlivněn – docházelo k tvorbě barevných map s lokálními světlými a tmavými částmi. Na skoro všech vzorcích bylo možné detekovat částečné zabarvení zemínou. Na některých vzorcích byly viditelné tvarové deformace.

V rámci ošetřených vzorků docházelo k největším vizuálním i hmotnostním změnám u těch, které byly ošetřené nátěrem.

Na Obr. 17 je vidět, že u vzorků v této expozici dochází k největším hmotnostním změnám v průběhu jednotlivých měsíčních kontrol. Tyto změny byly ovlivněny hlavně probíhajícím počasím.



Obr. 17 - Hmotnostní změny Δm u vzorků Typu A u modřínového dřeva

Průměrné změny hmotnosti pro referenční i ošetřené vzorky dřevin jsou v Příloze 1.

7.4. Laboratorní stanovení mechanických parametrů po expozici vzorků

Cílem mé diplomové práce nebylo pouze zkoumání změn hmotnosti a vzhledu u ošetřených vzorků, ale také zhodnocení mechanických parametrů v závislosti na expozici mineralizovaného prvku v reálné stavbě.

Na konci října jsem vzorky převezla zpátky do laboratoře. Jelikož tyto vzorky obsahovaly značné množství vody, které by mohlo ovlivnit realizaci zkoušek i samotné porovnávání výsledků, byly vzorky ponechány v laboratoři s teplotou $20 \pm 1^\circ\text{C}$ a relativní vlhkostí vzduchu $50 \pm 5\%$ po dobu cca 1 týdne do ustálení hmotnosti. Průměrná vlhkost vzorků, při převozu do laboratoře, byla v rozmezí od 20 do 24 %.

Pro zkoumání mechanických vlastností jsem zvolila zkoušku **pevnosti v tlaku ve směru vláken** a **rázovou houževnatost**. [7, 8]

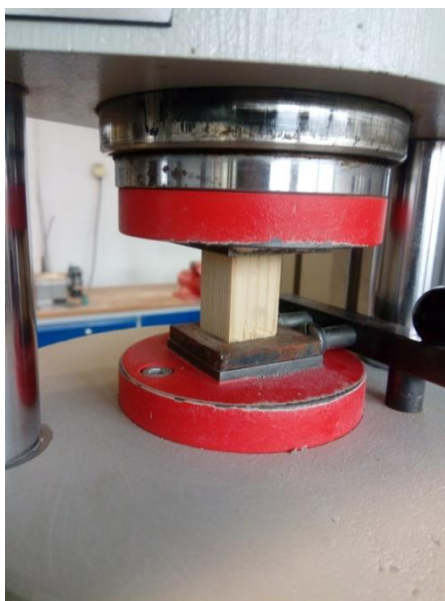
7.4.1. Stanovení pevnosti v tlaku ve směru vláken

Pro tuto zkoušku jsem použila vzorky „typu A“ o rozměrech 20 x 20 x 30 mm (R x T x L).

Pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny jsem zkoušela i u základní sady vzorků, kterou tvořily neošetřené vzorky ponechané pouze v laboratorním prostředí.

Tyto vzorky sloužily pro srovnání se vzorky exponovanými na stavbě.

Při této zkoušce jsem postupovala podle normy ČSN 49 0110. Při této zkoušce jde především o zjištění největšího možného zatížení pro porušení vzorku dřeva a následného výpočtu pevnosti (viz Obr. 18).[7]



Obr. 18 - Umístěný vzorek v lisu

Do lisu jsem vkládala vzorky tak, aby byly zatěžovány ve směru vláken na radiálním řezu. Vzorky jsem rovnoměrně zatěžovala s konstantní rychlostí 0,3 kN/s, aby k jejich porušení došlo v čase 60 (± 30) s. Po porušení vzorku jsem odečetla maximální sílu s přesností na 0,01 kN. Následně jsem pro výpočet pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny σ_w použila vzorec (4).[7]

$$\sigma_w = \frac{F_{max}}{a \cdot b} \text{ [MPa]} \quad (4)$$

, kde F_{MAX} ...maximální síla při porušení vzorku [N];
a, b...rozměry tělesa (šířka, výška) [mm].

Při zkoušení měly vzorky konkrétní vlhkost. Jejich hodnotu w [%] jsem stanovila pomocí gravimetrické metody dle normy ČSN EN 13183 – 1 (viz Tab. 10). [4]

Tab. 10 - Vlhkosti dřeva v době zkoušky

EXPOZICE	DŘEVINA	VLHKOST [%]
INTERIÉR	SMRK	13,4
	MODŘÍN	12,3
	BUK	14,0
EXTERIÉR	SMRK	12,5
	MODŘÍN	12,1
	BUK	13,6
EXTERIÉR - ZEMINA	SMRK	14,4
	MODŘÍN	13,8
	BUK	14,2

Tyto hodnoty jsem poté použila pro přepočítání pevnosti při 12 % vlhkosti σ_{12} .

K tomu jsem použila vzorec (5), kde $\alpha=0,04$ je opravný koeficient pro všechny dřeviny. [7, 14]

$$\sigma_{12} = \sigma_w * [1 + \alpha * (w - 12)] \text{ [MPa]} \quad (5)$$

, kde σ_w ...pevnost vzorku při konkrétní vlhkosti [MPa];

α ...opravný koeficient [-];

w ...konkrétní vlhkost [-].

V Tab. 11 jsou uvedeny průměrné hodnoty pevnosti v tlaku zaokrouhlené s přesností na 0,5 MPa ve směru vláken u vzorků umístěných v laboratoři. Hodnoty jsou průměrem z deseti vzorků pro každou dřevinu. Jejich vlhkost se pohybovala okolo 13 %.

Tab. 11 - Hodnoty pevností v tlaku u laboratorních vzorků

DŘEVINA	PEVNOST V TLAKU [MPa]
SMRK	58,5
MODŘÍN	67,5
BUK	70,0

Výsledné průměrné hodnoty pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny ošetřených vzorků včetně vzorků referenčních jsou uvedeny v Tab. 12.

Tab. 12 - Výsledné průměrné pevnosti ve směru vláken

PEVNOST V TLAKU ROVNOBĚŽNĚ S VLÁKNY [MPa]							
EXPOZICE	DRUH OŠETŘENÍ	SMRK σ_w	SMRK σ_{12}	BUK σ_w	BUK σ_{12}	MODŘÍN σ_w	MODŘÍN σ_{12}
INTERIÉR	referenční	52,0	55,0	66,0	71,5	62,0	63,0
	ošetření A	51,0	54,0	69,5	75,0	61,5	62,5
	ošetření B	48,0	51,0	69,0	74,5	62,0	63,0
	ošetření C	46,0	49,0	67,0	72,5	65,0	66,0
EXTERIÉR	referenční	45,0	46,0	64,0	68,5	60,5	61,0
	ošetření A	48,0	49,0	62,0	66,5	63,5	64,0
	ošetření B	49,0	50,0	63,0	67,5	65,0	65,5
	ošetření C	43,5	44,5	62,0	66,5	55,0	55,5
EXTERIÉR - ZEMINA	referenční	48,0	53,0	63,5	69,5	-	-
	ošetření A	45,0	50,0	61,5	67,5	61,0	65,5
	ošetření B	46,0	51,0	63,5	69,5	57,5	62
	ošetření C	47,5	52,5	57,5	63,5	51,0	55,5

Pozn. Průměrné hodnoty jsou vypočtené z 10 vzorků pro každé ošetření v dané expozici pro jednotlivou dřevinu. Referenční vzorky u modřínu v exteriéru v kontaktu se zemí se ztratili, zbyl pouze jeden vzorek, který měl velmi nízkou pevnost, kterou nebylo možné použít.

Z tabulky 12 společně s výpočtem příjmu účinné složky lze říci, že s rostoucím obsahem minerální složky klesají konečné pevnosti, zejména je tento efekt viditelný v exteriéru v kontaktu se zeminou a to především u smrku, který měl příjem ochranného prostředí největší.

Vyhodnocení

Získané výsledky pevností v tlaku podél vláken ukazují, že mezi jednotlivými výsledky se vyskytují jen malé rozdíly, které mohou být způsobeny ošetřením materiálu, ale i výběrem vzorků, protože počet testovaných těles byl redukován na 10 ks.

Z tabulky 12 je patrné, že nejlepší vliv na pevnostní parametry dřevin má ošetření B, které u většiny dřevin dosahuje vyšších hodnot než u jiných druhů ochrany.

Účinným způsobem ochrany může být také nátěr, což je patrné například u modřínu v exteriéru v kontaktu se zemí, ale nízký příjem ochranného prostředku je pravděpodobně příčinou toho, že se tento efekt viditelně neprojevuje i u jiných případů.

Ošetření C má největší příjmy ochranné látky (viz Tab. 8), ale kvůli dlouhodobému působení roztoku se výsledná pevnost snižuje, pravděpodobně v důsledku oslabení vazeb mezi jednotlivými složkami dřeva.

Při zachování pevnostních parametrů je vhodné dřevo buď natírat, nebo máčet, ale po kratší dobu. V našem případě se jako nejvhodnější jeví aplikace Lukofobu 39 máčením po dobu 1 hodiny.

Pro lepší interpretaci výsledků a prokázání vhodné aplikace mineralizačního přípravku by bylo vhodné nechat dřeviny na stavbě po delší dobu než půl roku. A samozřejmě zajistit větší počet vzorků.

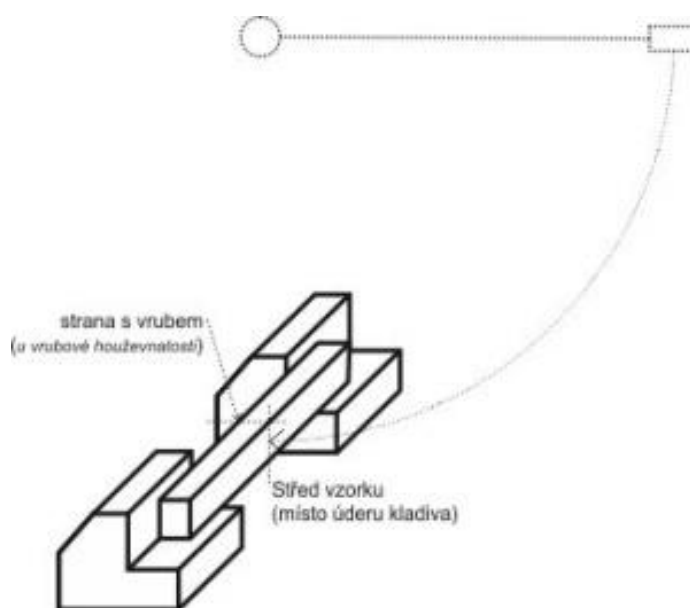
Vyšší pevnosti vykazují především vzorky v interiéru, na které nepůsobí povětrnostní vlivy a ani jiné degradační faktory.

Naproti tomu vzorky umístěné v exteriéru v kontaktu se zemí byly vystaveny působení zvýšené vlhkosti i dalším, zejména abiotickým činitelům (nelze vyloučit i biologickou degradaci), které konečné pevnosti redukovaly.

7.4.2. Stanovení rázové houževnatosti

Pro vykonávání této zkoušky jsem použila vzorky „typu B“ o rozměrech 20 x 20 x 300 mm (R x T x L).

Mým podkladem u této zkoušky byla norma ČSN 490117. Principem této zkoušky je zjištění odolnosti dřeva proti rázovému namáhání. Při této zkoušce jsem použila Charpyho kladivo, které slouží ke zjištění energie potřebné ke zlomení těles (viz Obr. 19). [8, 40]



Obr. 19 - Přerážecí zkouška pomocí Charpyho kladiva [40]

Vzorky jsem do přístroje umísťovala tak, aby došlo k jeho porušení jediným úderem kladiva. Po úderu kladiva jsem odečetla potřebnou energii, přesněji práci Q s přesností 0,01 J. Rázovou houževnatost A_w jsem vypočítala podle vztahu (6): [8, 19]

$$A_w = \frac{Q}{a \cdot b} \quad [J \cdot cm^{-2}] \quad (6)$$

, kde Q ...práce při porušení vzorku [J];
 a ...rozměry vzorku (šířka, výška) [cm].

Tuto rázovou houževnatost při určité vlhkosti jsem podle vzorce (7) přepočítala na houževnatost při 12 % vlhkosti zkušebních dřevin A_{12} . K tomu jsem použila opravný koeficient, který je pro všechny dřeviny $\alpha=0,02$. [8]

Vlhkost dřevin jsem obdobně jako u předchozí zkoušky stanovila pomocí gravimetrické metody. Hodnoty byly stejné (viz Tab. 10). [4, 61]

$$A_{12} = A_w * [1 + \alpha * (w - 12)] \quad (7)$$

, kde A_w ...rázová houževnatost při konkrétní vlhkosti [$J.cm^{-2}$];

α ...opravný koeficient [-];

w ...konkrétní vlhkost [-].

I u této zkoušky jsem provedla stanovení rázové houževnatosti na vzorcích umístěných v laboratoři, ale jejich výsledky jsem z technických důvodů nemohla použít.

Výsledné průměrné hodnoty rázové houževnatosti ošetřených vzorků včetně vzorků referenčních jsou uvedeny v tabulce 13.

Tab. 13 - Rázová houževnatost pro jednotlivé dřeviny

RÁZOVÁ HOUŽEVNATOST [$J.cm^{-2}$]							
EXPOZICE	DRUH OŠETŘENÍ	SMRK A_w	SMRK A_{12}	BUK A_w	BUK A_{12}	MODŘÍN A_w	MODŘÍN A_{12}
INTERIÉR	referenční	5,4	5,6	9,5	9,9	7,8	7,9
	ošetření A	4,1	4,3	9,1	9,5	5,9	6,0
	ošetření B	6,7	6,9	9,9	10,3	8,5	8,6
	ošetření C	6,0	6,2	10,0	10,4	7,0	7,1
EXTERIÉR	referenční	6,7	6,8	9,3	9,6	6,2	6,3
	ošetření A	6,2	6,3	9,7	10,0	6,9	7,0
	ošetření B	3,8	3,9	9,7	10,0	6,9	7,0
	ošetření C	4,1	4,2	9,8	10,1	7,4	7,5
EXTERIÉR - ZEMINA	referenční	5,4	5,7	6,5	6,8	7,2	7,5
	ošetření A	7,5	7,8	9,6	9,9	5,4	5,7
	ošetření B	6,3	6,6	8,3	8,6	6,1	6,4
	ošetření C	4,8	5,1	8,9	9,2	6,5	6,8

Pozn. Průměrné hodnoty jsou vypočtené z 10 vzorků pro každé ošetření v dané expozici pro každou dřevinu.

Vyhodnocení

Získané hodnoty rázových houževnatosti jsou v souladu s nastudovanými daty (viz Tab. 13). Nejmenších hodnot rázové houževnatosti dosahuje smrk, naopak největších buk. Rozdíly mezi jednotlivými druhy ošetření a expozičními podmínkami však nebyly opět nijak výrazné.

V porovnání s nalezenými daty lze konstatovat, že aplikace mineralizační látky zvyšuje rázovou houževnatost vzorků, ale tím pádem i křehkost vzorků.

Z tabulky 13 je ovšem patrné, že v některých případech jsou hodnoty rázové houževnatosti nižší u máčení po dobu 4 hodin. U toho ošetření sice došlo k největšímu příjmu aktivní složky mineralizačního přípravku, ale s největší pravděpodobností současně nastává rozklad méně stabilnějších složek dřeva, které jsou zřejmě příčinou tohoto poklesu.

Některé dřevěné vzorky byly vysoce houževnaté a to zejména díky výskytu různých anomálií ve formě například suků či tlakového dřeva, a proto Charpyho kladivo s maximální prací 50,06 J nestačilo k jejich celkovému rozlomení. Pro příští zkoušení bych doporučovala použít přístroj s větším rozsahem měření.

8. Hodnocení termické degradace mineralizovaného dřeva

Při tepelné degradaci dřeva jde především o narušení struktury dřeva působením vysokých teplot. Tento proces je možné ovlivnit aplikováním ochranného prostředku za účelem zpomalení nebo zabránění hoření na fyzikálním nebo chemickém principu. [18, 59]

8.1. Příprava vzorků

K popisu mineralizace jsem použila větší vzorky o rozměrech 125 x 125 x 300 mm (R x T x L).

U každé dřeviny (smrk, buk, modřín) jsem pracovala se čtyřmi vzorky - referenčním, ošetřeným nátěrem, ošetřeným máčením v laboratorním prostředí po dobu 1 hodiny a 4 hodin. Tyto vzorky byly opět ošetřené 10% vodným roztokem prostředku Lukofob 39.

Příjem ochranné látky i účinné složky těchto vzorků jsem spočítala obdobně jako u vzorků typu A a B podle vzorce (3), hodnoty jsou uvedené v tabulce 14.

Tab. 14 - Příjem ochranného přípravku a aktivní složky u vzorků pro termickou analýzu

PŘÍJEM OCHRANNÉ LÁTKY A AKTIVNÍ SLOŽKY [kg.m⁻³]					
SMRK		BUK		MODŘÍN	
nátěr	0,5 (0,01)	nátěr	0,4 (0,008)	nátěr	0,4 (0,008)
máčení po dobu 1 hodiny	1,7 (0,03)	máčení po dobu 1 hodiny	3,1 (0,06)	máčení po dobu 1 hodiny	1,5 (0,03)
máčení po dobu 4 hodin	2,0 (0,04)	máčení po dobu 4 hodin	4,8 (0,1)	máčení po dobu 4 hodin	2,3 (0,05)

Z tabulky 14 je patrné, že hodnoty příjmu ochranné látky a účinné složky jsou nižší, jelikož nedošlo k úplnému prosycení vzorku, ale jen povrchových vrstev.

Z těchto primárních vzorků, ošetřených i referenčních, jsem pomocí přírůstkového vrtáku odebrala válcový vývrt o průměru 5 mm a délkou přes celý příčný rozměr tělesa (viz Obr. 20).



Obr. 20 - Válcový vývrt pro termickou analýzu

Z těchto připravených válcových těles jsem poté odřezávala řezy s tloušťkou cca 2 mm, v jednom z příčných směrů od povrchu do středu vzorku. Tyto řezy jsem pečlivě změřila s přesností na 0,01 mm, které jsem následně označila. Pro testování v oxidační atmosféře bylo připraveno 5 řezů a pro redukční atmosféru byl počet řezů zredukován na 3.

8.2. Termická analýza

Principem termické analýzy je zjišťování hmotnostních úbytků a tepelných změn při tepelném zatížení vzorku dřeva. Při této analýze lze sledovat průběh termické degradace jednotlivých složek dřeva. Jedná se o destruktivní zkoušku, pro kterou je však potřeba pouze malého množství zkoumaného vzorku. [18]

8.2.1. Metodika provádění termické analýzy

K provádění této zkoušky slouží přístroj SDT Q600, který kombinuje termogravimetrickou analýzu a diferenční skenovací kalorimetrii. [14]

Do tohoto přístroje, přesněji do korundových misek, jsem vložila postupně připravené válcové řezy, které byly vystaveny působení teplotního zatěžování až do teploty 900 °C – u referencí a 700°C u mineralizovaných vzorků při rychlosti 10 °C za minutu.

Testování probíhalo jak v **oxidační atmosféře** vzduchu, tak i **redukční atmosféře** N₂.

Jak již bylo zmíněno, pro vyhodnocení v redukční atmosféře byly pro každý vývrt použity 3 řezy a pro oxidační atmosféru řezů 5.

V redukční atmosféře na rozdíl od oxidační dochází k pyrolýze. Pyrolýza je termický rozklad látek bez spalování. Při vyhodnocení je zde lepší vykreslení probíhajících reakcí.

Výhodou oxidační atmosféry je především simulace reálného hoření za přístupu vzduchu. [18, 59]

8.2.2. Vyhodnocení termické analýzy

K vyhodnocování jsem použila program TA Universal Analysis, který napomáhá při kvantitativním a grafickém vyhodnocení termických křivek. [14]

U této zkoušky jsem nezkoumala pouze vzorky ošetřené, ale i referenční. Ty mi sloužily k porovnání rozdílů mezi aplikací mineralizačního prostředku a neošetřených dřevin.

Referenční vzorky jsem podrobila oxidační atmosféře i atmosféře redukční N₂ do 900 °C.

U těchto vzorků jsem stanovila **hustotu ρ** ze známých rozměrů a hmotnosti a dále pak z procentuálního úbytku hmotnosti **spalitelný Δ_{SP} a nespalitelný podíl Δ_{NESP}** dle vztahu (8), **hmotnost nespalitelného podílu m_{NESP}** dle vztahu (9) a **koncentraci nespalitelné složky c_{NESP}** dle vztahu (10). [14, 18]

$$\Delta_{NESP} = 100 - \Delta_{SP} \quad [\%] \quad (8)$$

$$m_{NESP} = 0,01 * \Delta_{NESP} * m_{PUV} \quad [mg] \quad (9)$$

$$c_{NESP} = \frac{4 * m_{NESP}}{\pi * l * d^2} \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (10)$$

, kde m_{PUV} ...původní hmotnost zkoušeného vzorku [mg];

l ...původní délka zkoušeného vzorku [m];

d ...průměr zkoušeného vzorku [m];

Referenční vzorky dosahovaly průměrných hodnot nespalitelného podílu Δ_{NESP} v redukční atmosféře pro modřín 19,19 %, buk 23,43 % a smrk 21,50 %.

U oxidační atmosféry to byly hodnoty pro modřín 11,91 %, buk 9,62 % a smrk 10,16 %. Z průměrných hodnot je patrné, že nespalitelný podíl je v oxidační atmosféře mnohem nižší, protože dochází k reakcím s kyslíkem.

Průměrné hodnoty koncentrace nespalitelné složky c_{NESP} byly pro redukční atmosféru u modřínu $149,02 \text{ kg.m}^{-3}$, u buku $155,15 \text{ kg.m}^{-3}$ a smrku $96,16 \text{ kg.m}^{-3}$.

U oxidační atmosféry dosahovaly hodnoty u modřínu $65,62 \text{ kg.m}^{-3}$, u buku $57,70 \text{ kg.m}^{-3}$ a u smrku $49,93 \text{ kg.m}^{-3}$. Pro tuto veličinu a hodnotu spalitelného podílu Δ_{SP} jsem vypočítala i hodnoty směrodatných odchylek.

Kompletní tabulky pro jednotlivé dřeviny naleznete v Příloze 2.

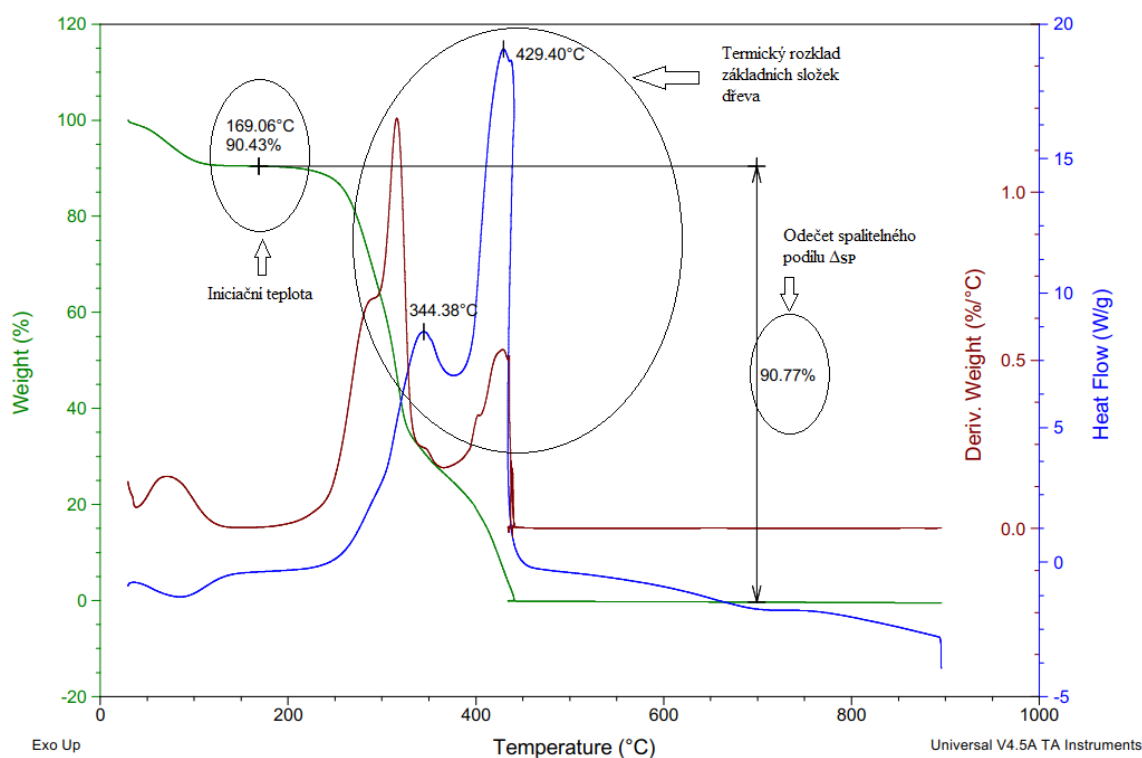
Z jednotlivých analýz jsem získala grafický záznam, na kterém jsou křivky popisující probíhající termickou degradaci.

Zelená křivka – TG křivka představuje změny v hmotnosti, které jsou závislé na působící teplotě. Tuto křivku jsem použila především ke stanovení spalitelného podílu $\Delta_{\text{SP}}[\%]$. [18]

Modrá křivka - DSC křivka představuje tepelný tok během měření – termické degradace a umožňuje nám detekovat jednotlivé děje na základě vrcholů píků nebo množství uvolněného tepla. [18]

Červená křivka (DTG) - derivace křivky TG, a využívá se za účelem přesnějšího rozlišení jednotlivých dějů spojených zejména s rozkladem základních stavebních složek dřeva.[18]

Na křivkách DSC a DTG je vidět typický termický rozklad základních složek dřeva. V prvním rozmezí dochází ke spalování převážně těkavých hořlavin ve dřevě. V druhém rozmezí dochází již ke spalování pevných složek dřeva (viz Obr. 21).



Obr. 21 - Vyhodnocení termické analýzy - buk, referenční, povrchový řez

OXIDAČNÍ ATMOSFÉRA

Obecně množství nespalitelného podílu klesá směrem od povrchu ke středu vzorku, což můžete vidět na příkladu modřínového dřeva ošetřeného nátěrem (viz Obr. 22). Největších hodnot nespalitelného podílu v povrchových vrstvách dosahují ty vzorky, které vykazovaly také vyšší příjmy roztoku, v našem případě při máčení po dobu 4 hodin. V tomto případě lze vidět, že v rámci jednostranných odběrů se hodnoty nespalitelného podílu u sousedních vzorků více liší.

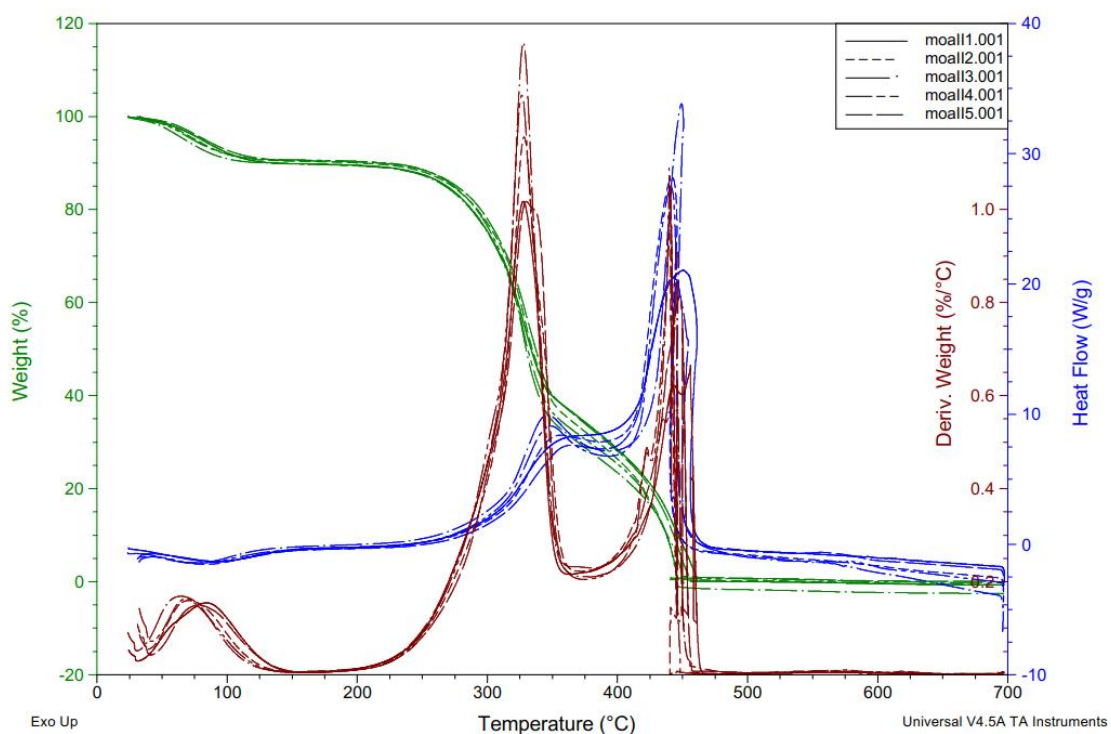
Na křivkách DSC a DTG je vidět typický termický rozklad základních složek od 200 do 600 °C (viz Obr. 22). Úbytek hmotnosti nad 600°C již není významný. Na základě vizuálního hodnocení DSC křivky lze odhadnout změny ve vývinu tepla, které by měly klesat s rostoucím podílem minerální složky.

U smrku a buku je to obdobné jako u modřínu, samozřejmě s rozdílem v nespalitelných podílech a počátečních hmotnostech.

S rostoucím obsahem minerální složky klesá vývin tepla při hoření dřeva (viz Tab. 15), můžeme tedy říci, že ošetření ovlivňuje výslednou hořlavost dřeva. A na základě porovnání jednotlivých řezů při jednostranném odběru lze říci, že ovlivnění hořlavosti

se týká především povrchových vrstev, a čím blíže jsme středu vzorku, tím termická degradace probíhá stejně jako u dřeva neošetřeného (viz Obr. 23).

Kompletní tabulky pro dřeviny v oxidační atmosféře jsou v Příloze 3.



Obr. 22 - Průběh termické analýzy - modřín, nátěr, řez 1-5

Jednotlivé iniciační teploty při hoření povrchových řezů jednotlivých dřevin a druhů ošetření v oxidační atmosféře včetně teplot maxim. píků při rozkladu složek dřeva jsou obsažené v Tab. 15. V této tabulce jsou uvedeny i hodnoty uvolněného tepla, které bylo potřeba k rozkladu složek.

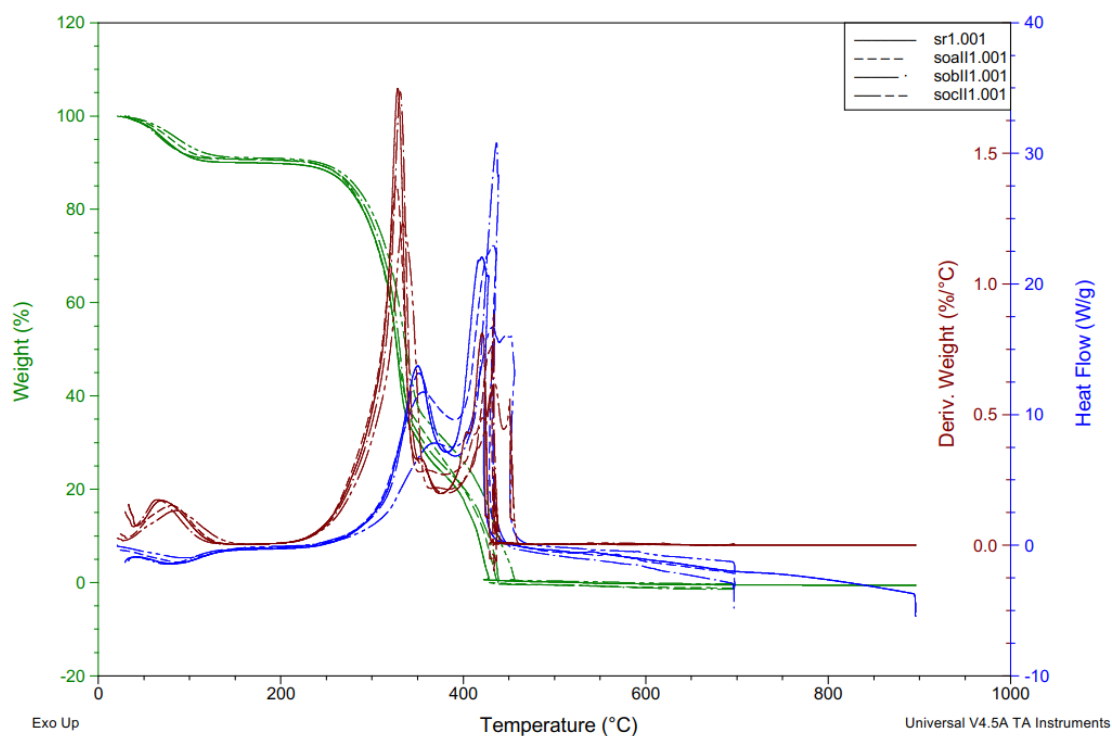
Tab. 15 - Iniciační teploty pro oxidační atmosféru u povrchových vrstev

DŘEVINA	DRUH OŠETŘENÍ	INICIAČNÍ TEPLOTA [°C]	TEPLOTA V PRVNÍ FÁZI ROZKLADU [°C]	TEPLOTA V DRUHÉ FÁZI ROZKLADU [°C]	MNOŽSTVÍ UVOLNĚNÉHO TEPLA [J/g]
MODŘÍN	REFERENČNÍ	175,50	356,09	445,97	11 508
	NÁTĚR	163,81	341,12	416,88	10 085
	MÁČENÍ – 1 HODINA	142,55	340,37	419,49	6 801
	MÁČENÍ – 4 HODINY	149,96	296,87	386,50	8 370
BUK	REFERENČNÍ	172,88	342,53	428,93	12 205
	NÁTĚR	153,78	364,18	421,83	8 663
	MÁČENÍ – 1 HODINA	151,10	381,16	418,37	7 737
	MÁČENÍ – 4 HODINY	165,81	319,19	418,48	9 611
SMRK	REFERENČNÍ	155,69	349,76	420,15	12 270
	NÁTĚR	165,81	354,74	432,78	8 924
	MÁČENÍ – 1 HODINA	148,98	350,96	436,36	7 897
	MÁČENÍ – 4 HODINY	155,67	366,50	431,38	7 770

Jednotlivé teplotní mezníky jsou ovlivněny především podílem jarního a letního dřeva, případně vyšším obsahem různých pryskyřic ve dřevě. V rámci testovaných druhů dřevin a různých typů ošetření se tyto hodnoty nijak zásadně neliší a proto lze konstatovat, že ošetření mineralizací nemá zásadní vliv na posun iniciačních teplot a ani maxim píků na DSC křivce.

Na Obr. 23 je vidět porovnání povrchových řezů u jednotlivých typů ošetření včetně referenčního vzorku v oxidační atmosféře. Je zde vidět, že rozdíl v podílu nespalitelných složek není moc zřetelný a příliš se od sebe neliší, přesto lze říci, že podíl nespalitelné složky roste s delší dobou umístění dřeva v roztoku.

Vyhodnocené teplotní křivky obdobně pro modřín a buk jsou v Příloze 5.



Obr. 23 - Smrk - porovnání povrchových řezů jednotlivých ošetření: referenční smrk (srI), smrk ošetřený nátěrem (soaII), smrk máčený po dobu 1 hodiny (sobII), smrk máčený po dobu 4 hodin (socII)

Z hlediska monitorování množství uvolněného tepla, lze sledovat, že množství klesá s rostoucím podílem nespalitelné složky (viz Tab. 15).

REDUKČNÍ ATMOSFÉRA

U válcových vývrtů, které byly podrobené zpracování v redukční atmosféře, jsem provedla pouze měření tří řezů, jelikož při měření v oxidační atmosféře bylo zjištěno, že je tento počet pro testované primární vzorky postačující.

Jednotlivé iniciační teploty začátku spalování povrchových řezů jednotlivých dřevin a druhů ošetření v redukční atmosféře včetně teplot maxim píků při rozkladu hlavních složek dřeva jsou obsažené v Tab. 16.

Obdobně jako v předchozím případě jsou jednotlivé hodnoty teploty ovlivněny zejména podílem jarního a letního dřeva, případně vyšším obsahem různých pryskyřic ve dřevě. Kompletní tabulky pro dřeviny v redukční atmosféře jsou v Příloze 4.

Tab. 16 - Iniciační teploty pro redukční atmosféru u povrchových vrstev

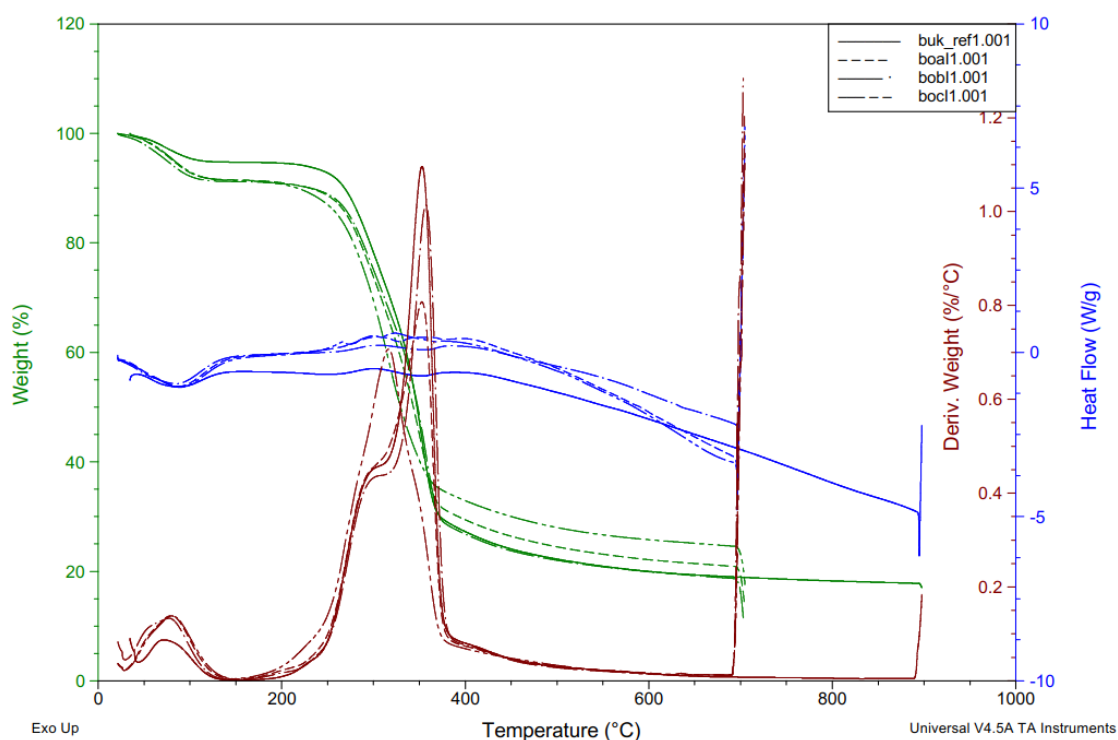
DŘEVINA	DRUH OŠETŘENÍ	INICIAČNÍ TEPLOTA [°C]	TEPLOTA V PRVNÍ FÁZI ROZKLADU [°C]	TEPLOTA V DRUHÉ FÁZI ROZKLADU [°C]
MODŘÍN	REFERENČNÍ	171,93	335,11	418,47
	NÁTĚR	181,09	313,92	353,63
	MÁČENÍ – 1 HODINA	158,94	305,02	338,64
	MÁČENÍ – 4 HODINY	152,82	303,42	343,87
BUK	REFERENČNÍ	156,65	303,53	406,01
	NÁTĚR	148,24	302,97	355,90
	MÁČENÍ – 1 HODINA	150,53	306,06	389,49
	MÁČENÍ – 4 HODINY	149,00	301,55	323,30
SMRK	REFERENČNÍ	150,92	352,41	413,89
	NÁTĚR	161,91	295,86	332,85
	MÁČENÍ – 1 HODINA	165,81	291,45	397,76
	MÁČENÍ – 4 HODINY	152,06	323,38	393,21

V redukční atmosféře je vidět rozdíl především v nespalitelném podílu, jelikož zde nedochází k samotnému spalování, ale k pyrolýze. Tudíž úbytek hmotnosti je nižší a lépe tak lze indikovat redukci hořlavosti díky navýšení množství popelu.

Na TG křivkách je vidět zřetelný rozdíl v nespalitelném podílu Δ_{NESP} (viz Obr. 24), v neošetřeném prvku je nespalitelný podíl nejnižší a s vyšším příjmem minerální složky by měl růst. Hodnoty nespalitelného podílu Δ_{NESP} pro jednotlivé dřeviny a druhu ošetření vždy pro povrchový řez jsou uvedeny v Tab. 17. Z této tabulky je patrné, že nejvyšší nespalitelný podíl má ošetření dřevin máčením po dobu 4 hodin a to díky vyššímu příjmu minerální složky.

Zvláštností jsou pak nízké hodnoty nespalitelného podílu při máčení 1 hodina, jehož hodnoty jsou téměř totožné s referenčními hodnotami. Tyto hodnoty mohla pravděpodobně ovlivnit struktura dřeva – špatné pronikání roztoku přes letní dřevo nebo chyba v ošetření – dotýkání se vzorků navzájem, špatné promísení roztoku.

Vyhodnocené grafické záznamy obdobně pro modřín a smrk jsou v Příloze 6.



Obr. 24 - Buk - porovnání povrchových řezů jednotlivých ošetření: referenční buk (buk_ref1), buk ošetřený nátěrem (boa11), buk máčený po dobu 1 hodiny (bob11), buk máčený po dobu 4 hodin (boc11)

Tab. 17 - Hodnoty nespalitelného podílu Δ_{NESP} pro dřeviny v redukční atmosféře

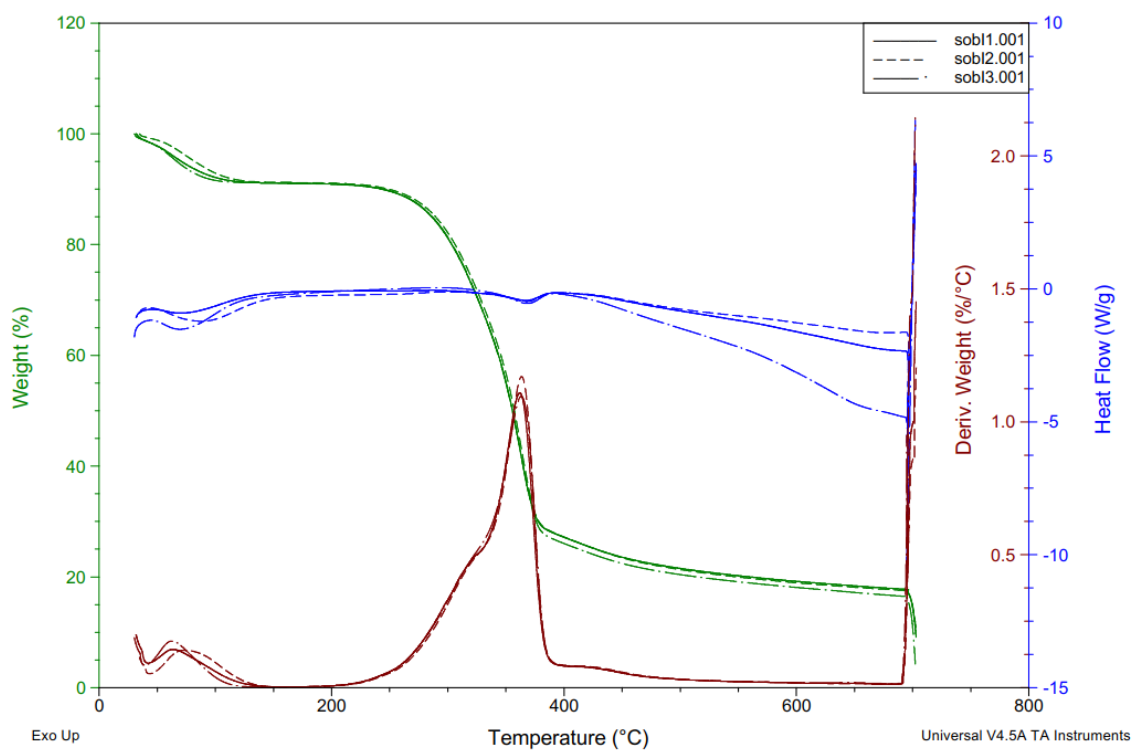
DŘEVINA	DRUH OŠETŘENÍ	NESPALITELNÝ PODÍL Δ_{NESP} [%]
MODŘÍN	REFERENČNÍ	26,36
	NÁTĚR	30,19
	MÁČENÍ – 1 HODINA	29,14
	MÁČENÍ – 4 HODINY	31,94
BUK	REFERENČNÍ	24,18
	NÁTĚR	29,42
	MÁČENÍ – 1 HODINA	27,5
	MÁČENÍ – 4 HODINY	33,17
SMRK	REFERENČNÍ	23,38
	NÁTĚR	28,75
	MÁČENÍ – 1 HODINA	26,70
	MÁČENÍ – 4 HODINY	31,33

Rozdíl mezi prováděním termické analýzy v oxidační a redukční atmosféře byl především v hodnotách nespalitelného podílu Δ_{NESP} (vyšší v redukční atmosféře) a teplotách maxim píků (vyšší v oxidační atmosféře) při rozkladu hlavních složek dřeva. Iniciační teploty se v podstatě neliší.

Na obrázku 25 je vidět průběh termické analýzy jednotlivých řezů smrkového dřeva máčeného po dobu 1 hodiny. Průběh křivek je relativně totožný. Znatelný rozdíl je vidět především v nespalitelných podílech. Ty nám indikují také změnu hořlavosti.

Lze tedy konstatovat, že vliv na hořlavost dřeva byla prokázána.

Grafické záznamy obdobně pro modřín a buk jsou v Příloze 6.



Obr. 25 - Průběh termické analýzy - smrk, máčení po dobu 1 hodiny, řez 1-3

9. Závěr

Cílem mé diplomové práce bylo stanovení vlivu mineralizačního přípravku Lukofob 39, který byl ve formě 10 % koncentrační roztoku, aplikován různými druhy ochrany (nátěr, máčení po dobu 1 hodiny, máčení po dobu 4 hodin) na tři druhy dřevin (modřín, smrk a buk). Lukofob 39 je vodný silikonový přípravek, který se používá na vytvoření vodoodpudivé povrchové vrstvy za účelem snížení nasákavosti materiálu.

Díky takto připraveným vzorkům jsem mohla sledovat především rozdíly v chování u ošetřených a neošetřených (referenčních) vzorků vystavených působení abiotických degradačních činitelů. Všechny tyto vzorky byly umístěny šest měsíců na stavbě ve Velkých Karlovicích na různých místech – interiér, exteriér a exteriér v kontaktu se zemí.

Během této doby jsem na základě provedených měření zjistila, že vzorky, které byly máčeny v roztoku po dobu 1 hodiny, vykazovaly mnohem lepších výsledků především v mechanických parametrech než ostatní druhy ošetření, protože obsahovaly vyšší podíl minerálních částí, ale nedošlo zde k degradaci materiálu během dlouhodobého ošetřování. Tím bylo prokázáno, že mineralizační přípravek dosahuje nejlepších výsledků, pokud je dřevo touto látkou ošetřováno máčením v kratších intervalech.

Z hlediska trvanlivosti je takto ošetřené dřevo více odolné proti změnám barvy vlivem UV záření a usuzovat lze i na lepší odolnost vůči biologické i abiotické degradaci.

Na testovaných vzorcích jsem také prokázala snížení pevnosti v tlaku rovnoběžně s vlákny především při delším máčení v koncentrovaném roztoku, ale také při umístění dřevin v exteriéru v kontaktu se zemí. Naproti tomu rázová houževnatost dřevin se u ošetřených dřevin mírně zvýšila, což indikuje i zvýšení křehkosti.

Dále jsem prokázala navýšení nespalitelného podílu, který indikuje omezení hořlavosti u materiálů s větším podílem minerálních částic, naopak posun u iniciačních teplot a maxim píků u rozkladu složek nebyl pozorován.

Termická degradace probíhá přibližně ve stejných teplotních rozmezích jako u neošetřeného dřeva. Naopak na základě dalších dat, je možné říci, že dochází k redukci hořlavosti mineralizovaného materiálu. Konkrétně u oxidační atmosféry bylo

zjištěno, že s rostoucím podílem minerální složky, klesá vývin tepla při hoření, což je jeden ze zásadních parametrů hodnocení hořlavosti materiálu. Navíc v redukční atmosféře bylo zjištěno, že roste podíl nespalitelného podílu, což také indikuje zlepšení odolnosti proti termické degradaci. Je třeba si však uvědomit, že tento pozitivní efekt lze sledovat pouze v povrchových vrstvách, do kterých mineralizační prostředek penetroval.

Uvedená měření by mohla být dále zpřesněna a doplněna, například o testování většího počtu vzorků, případně u umístění vzorků ve stavbě by bylo vhodné zvolit delší expoziční dobu.

Díky vypracování této diplomové práce jsem pochopila princip mineralizace dřevěných prvků, k jakým změnám ve struktuře a i vlastnostech dřeva může docházet a jak dřevo co nejlépe ošetřit, aby se tím prodloužila jeho trvanlivost a životnost.

10. Poděkování

Mé poděkování patří Ing. Tereze Majstříkové, Ph.D. za veškerou pomoc, spolupráci a rady při psaní diplomové práce.

Také bych ráda poděkovala Laboratoři stavebních hmot, za použití přístrojů ve školních laboratořích a umožnění zkoušení mých vzorků.

Děkuji příteli, který mi byl při psaní diplomové práce velkou oporou a pomáhal mi, když jsem potřebovala.

Největší poděkování patří mé rodině, a to především úžasným rodičům, kteří mi byli po celou dobu studia tou největší oporou a podporovali mě, jak jen bylo možné.

Diplomová práce prezentuje znalosti nabyté v rámci projektu Institut čistých technologií těžby a užití energetických surovin - Projekt udržitelnosti. Identifikační kód: LO1406. Projekt je podporován Národním programem udržitelnosti financovaném ze státního rozpočtu ČR.

11. Použité zdroje informací

11.1. Normy

- [1] ČSN ISO 13822. Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí. 2014.
- [2] ČSN EN 212: Ochranné prostředky na dřevo – Návod na odběr a přípravu vzorků ochranných prostředků na dřevo a zkušebních těles z ošetřeného dřeva k analýze (2004).
- [3] ČSN EN 330: Ochranné prostředky na dřevo. Postup zkoušek pro zjišťování relativní účinnosti ochranného prostředku na dřevo použitého pod nátěrem a mimo styk se zemí ve volné přírodě: Metoda L-spoje (2015).
- [4] ČSN EN 13183-1. Vlhkost vzorku řeziva - Část 1: Stanovení váhovou metodou. 2002.
- [5] ČSN EN 335: Trvanlivost dřeva a materiálů na bázi dřeva – Třídy použití: definice, aplikace na rostlé dřevo a na výrobky na bázi dřeva (2013).
- [6] ČSN EN 384: Konstrukční dřevo – Stanovení charakteristických hodnot mechanických vlastností a hustoty (2010).
- [7] ČSN 490110: Dřevo. Medza pevnosti v tlaku v směru vláken (1980).
- [8] ČSN 490117: Dřevo. Razová hůževnatost' v ohybe (1982).
- [9] ČSN P ENV 1995-1-1. Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

11.2. Odborná literatura

[10] HORÁČEK, P., Fyzikální a mechanické vlastnosti dřeva I. Brno: MZLU, 2008. ISBN 978-80-7375-169-2.

[11] KOLEKTIV AUTORŮ. Vybrané kapitoly k tématu péče o stavební a umělecké památky II. Díl. Praha: Idea servis, 2008. ISBN 978-80-85970-62-3.

[12] KUKLÍK, P., Dřevěné konstrukce. Praha: ČKAIT, 2005. ISBN 80-86769-72-0.

[13] LOSOS, L., Historický nábytek - konstrukce, údržba, restaurování. Grada, 2013. ISBN 978-80-247-3546-7.

[14] MAJSTRÍKOVÁ, T., Mineralizace rostlého konstrukčního dřeva a její aplikace za účelem redukce vlhkostních objemových změn. Ostrava, 2016. Disertační práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební.

[15] REINPRECHT, L. Ochrana dřeva. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2004. ISBN 978-80-228-1863-6.

[16] REINPRECHT, L. Wood deterioration, Protection and Maintenance. Chicester: Wiley Blackwell, 2016. ISBN 978-1-119-10653-1.

[17] REINPRECHT, L., Grznárik, T.: SilánDrevo. Zvolen: Technická univerzita vo Zvolene, 2014. ISBN 978-80-01-04488-9.

[18] ŠTARCHA, P., TRÁVNÍČEK, Z., Termická analýza. Olomouc: UP Olomouc, 2011.

[19] SVIDEROVÁ, E., Stavebně technický průzkum dřevěných konstrukcí se zaměřením na vlhkost. Ostrava, 2017. Bakalářská práce. VŠB – Technická univerzita Ostrava. Fakulta stavební.

- [20] SVOBODA, L., Stavební hmoty. Bratislava: Jaga, 2009. ISBN 978-80-8076-057-1.
- [21] ŠEFCŮ, O., VINAŘ J., PACÁKOVÁ. M., Metodika ochrany dřeva. Praha, 2000.
- [22] WITZANY, J., et al.: PDR - Poruchy, degradace a rekonstrukce. Praha: ČVUT, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.

11.3. Odborné články a jiná publikace

- [23] DAŇKOVÁ, J., MAJSTRÍKOVÁ, T., REINPRECHT, L., MAMOŇOVÁ, M. (2014). Modifikace dřeva silikony jako potenciální perspektivní technologie ochrany dřevěných stavebních konstrukcí proti korozi. Koroze a ochrana materiálu. 58. 10.1515/kom-2015-0003.
- [24] DEJMAL A., Modifikace dřeva: Učební texty. Brno, 2017.
- [25] DROBILÍK, M., DP - Organosilany a jejich aplikační možnosti [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/33745>
- [26] DRUCHEMA. Bezpečnostní list: Lukofob 39. 2016.
- [27] HOUŠKA, P., Ochrana dřeva [online]. 2012 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/ochrana-dreva/1894-drzme-se-tradicnich-nateru>
- [28] JIŘÍČEK, P., 7 tipů jak ochránit dřevo, aby vydrželo věčně i bez impregnace [online]. 2018 [cit.2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/7-tipu-jak-ochranit-drevo>

[29] KLÍMA, M., O historii, dřevěných kostelích a dřevu vůbec. Sruby&roubenky 2/2011. ISSN 1804-8900

[30] KOTLÍNOVÁ, M., KLOIBER M., MENDELOVA ZEMĚDĚLSKÁ A LESNICKÁ UNIVERZITA V BRNĚ. Prevence jako nejlepší způsob sanace [online]. 2010 [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/drevene-konstrukce/7023-prevence-jako-nejlepsi-zpusob-sanace>

[31] KOTLÍK, P., Hydrofobizace stavebních materiálů [online]. 2008 [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: https://imaterialy.dumabyt.cz/rubriky/clanky/hydrofobizace-stavebnich-materialu_101418.html

[32] MELICHAROVÁ, Š., Impregnace dřeva [online]. 2017 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/impregnace-dreva-vse-co-potrebuji-vedet/>

[33] NOVÁK, P., Mechanické vlastnosti dřeva domácích dřevin [online]. 2013 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/mechanicke-vlastnosti-dreva-domacich-drevin>

[34] NOVÁK, P., Přirozená trvanlivost a odolnost dřeva [online]. 2018 [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/prirozena-trvanlivost-a-odolnost-dreva>

[35] NOVÁK, P., Tepelná modifikace dřeva [online]. 2011 [cit. 2018-11-23]. Dostupné z: <https://www.drevostavitel.cz/clanek/tepelna-modifikace-dreva-1-dil>

[36] STRATILOVÁ, L., Rešerše k DP - Anorganické fáze mineralizovaných dřev ze štěrkopískových sedimentů řeky Moravy. [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z: https://is.muni.cz/th/bq2pa/Reserse_k_DP.pdf?so=nx

[37] REINPRECHT, L., Chemická ochrana dřeva [online]. 2008 [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/chemicka-ochrana-dreva>

11.4. Zdroje z internetu

[38] Abiotické formy znehodnocení dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/4.pdf

[39] Atmosférická a biologická koroze dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://drevostavebniportal-popularizace.msdk.cz/files/atmosfericka-a-biologicka-koroze-dreva.pdf>

[40] Dřevo-zkoušení. VŠB, Zkoušení stavebních materiálů a výrobků [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=drevo_zkouseni

[41] Dřeviny a jejich vlastnosti [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://www.nasestromy.cz>

[42] Dřeviny a jejich vlastnosti [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://botanika.wendys.cz/index.php/14-herbar-rostlin>

[43] Falunská červeň [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
https://cs.wikipedia.org/wiki/Falunsk%C3%A1_%C4%8Derve%C5%88

[44] Hoření dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<https://podpalovac.zhoric.cz/tri-faze-horeni-dreva.html>

[45] Kresba dřeva [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z:
https://hobby.idnes.cz/poradna-vyznejte-se-v-dyhach-nektere-lze-jen-rezat-fsa-/hobby-dilna.aspx?c=A111216_135802_hobby-dilna_bma

[46] Mechanické vlastnosti dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=9190

[47] Modifikace dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<https://www.mezistromy.cz/ochrana-a-uprava-dreva/modifikacedreva/odborny>

- [48] Ochrana dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://www.roubenkyasruby.cz/o-drevu/ochrana>
- [49] Ochrana a sanace dřeva [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z:
<https://www.redok.eu/ochrana-a-sanace-dreva.htm>
- [50] Ošetřování dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
https://sdeleni.idnes.cz/spravne-osetzeni-dreva-zajisti-dlouhotrvajici-krasu-zahradniho-nabytku-1qt-/rea-sdeleni.aspx?c=A150714_073755_rea-sdeleni_ahr
- [51] Petrifikace [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://www.rady-kutilum.com/petrifikace-poskozenych-predmetu-82>
- [52] Principy fyzikální ochrany dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/5.pdf
- [53] Restaurování dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://www.studentske.cz/2010/11/23a-restaurovani-dreva.html>
- [54] Stavba dřeva. Aspara - poradenství, služby a vzdělání pro dřevařský a nábytkářský průmysl [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://www.elearning.aspara.cz/subdom/elearning/index.php?page=stavba-dreva>
- [55] Stavba dřeva. Nauka o materiálech [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://evawolna.sweb.cz/prvak-mat3.php>
- [56] Škodliví činitelé dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<https://www.mezistromy.cz/lesni-skudci/rozdeleni-skodlivych-cinitelu/odborny>
- [57] Technologické postupy ochrany dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/7.pdf
- [58] Thermally Modified Wood [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://www.yachtwood.com/>

- [59] ThermoWood - výrobní proces [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
[http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/128-drevene-profil-y-
tepelne-upravene-specialni-technologie-thermowood](http://www.prokom.cz/tepelne-upravene-drevo-thermowood/128-drevene-profil-y-tepelne-upravene-specialni-technologie-thermowood)
- [60] Vlastnosti dřevin. Nauka o materiálech [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
<http://evawolna.sweb.cz/prvak-mat4.php>
- [61] Vlhkost dřeva [online]. [cit. 2018-11-12]. Dostupné z:
http://tpm.fsv.cvut.cz/student/documents/files/IZMA/prednaskaII_IZMA.pdf
- [62] Zásady chemické ochrany dřeva [online]. [cit. 2018-11-11]. Dostupné z:
http://drevari.humlak.cz/data_web/Data_skola/HUdreva/6.pdf
- [63] Úhel smáčení [online]. [cit. 2018-11-23]. Dostupné z:
<https://old.vscht.cz/fch/prikladnik/prikladnik/p.12.1.html>

12. Seznamy

12.1. Seznam obrázků

<i>Obr. 1 - Textura dřeva podle směru řezu – příčný řez, radiální řez, tangenciální řez. [45]</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 2 - Modul pružnosti dřeva v závislosti na hustotě a vlhkosti materiálu [25]</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 3 - Degradace dřeva dřevokazným hmyzem</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 4 - Degradace dřeva působením povětrnostních vlivů [30]</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 5 - Ošetření dřeva volskou krví [48]</i>	<i>26</i>
<i>Obr. 6 – Rozložení vlhkosti ve stavbě [52]</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 7 - Provedení správného přesahu střechy[28]</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 8 - Postřik dřeva chemickým prostředkem [49]</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 9 - Změna barvy dřeva po tepelné modifikaci [58]</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 10 - Úhel smáčení u nehydrofobizovaného a hydrofobizovaného povrchu [63] ...</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 11 - Ošetřené vzorky dřeva</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 12 - Uložení vzorků v interiéru</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 13 - Uložení vzorků v exteriéru</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 14 - Uložení vzorků v exteriéru v kontaktu se zemí</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 15 - Hmotnostní změny Δm vzorků Typu A u smrkového dřeva</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 16 - Hmotnostní změny Δm u vzorků Typu A u bukového dřeva</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 17 - Hmotnostní změny Δm u vzorků Typu A u modřínového dřeva</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 18 - Umístění vzorek v lisu</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 19 - Přerážecí zkouška pomocí Charpyho kladiva [40]</i>	<i>59</i>
<i>Obr. 20 - Válcový vývrt pro termickou analýzu</i>	<i>63</i>
<i>Obr. 21 - Vyhodnocení termické analýzy - buk, referenční, povrchový řez</i>	<i>66</i>
<i>Obr. 22 - Průběh termické analýzy - modřín, nátěr, řez 1-5</i>	<i>67</i>
<i>Obr. 23 - Smrk - porovnání povrchových řezů jednotlivých ošetření:referenční smrk (sr1), smrk ošetřený nátěrem (soaIII), smrk máčený po dobu 1 hodiny (sobIII), smrk máčený po dobu 4 hodin (socIII)</i>	<i>69</i>
<i>Obr. 24 - Buk - porovnání povrchových řezů jednotlivých ošetření:referenční buk (buk_ref1), buk ošetřený nátěrem (boaII), buk máčený po dobu 1 hodiny (bobII), buk máčený po dobu 4 hodin (bocII)</i>	<i>71</i>
<i>Obr. 25 - Průběh termické analýzy - smrk, máčení po dobu 1 hodiny, řez 1-3</i>	<i>73</i>

12.2. Seznam tabulek

<i>Tab. 1 - Vybrané mechanické parametry některých dřevin [6, 9]</i>	18
<i>Tab. 2 - Procesy při působení vysokých teplot [44]</i>	25
<i>Tab. 3 - Třídy ohrožení dřeva [5]</i>	31
<i>Tab. 4 - Technologie aplikace chemického prostředku v závislosti na třídě ohrožení [62]</i>	32
<i>Tab. 5 - Vlastnosti Lukofobu 39[26]</i>	42
<i>Tab. 6 - Počet zkoušených vzorků</i>	45
<i>Tab. 7 - Vzorky pro jednotlivá ošetření a expozice</i>	45
<i>Tab. 8 - Hodnoty příjmu ochranného přípravku a aktivní složky roztoku</i>	47
<i>Tab. 9 - Stav počasí během monitorování vzorků</i>	51
<i>Tab. 10 - Vlhkosti dřeva v době zkoušky</i>	56
<i>Tab. 11 - Hodnoty pevností v tlaku u laboratorních vzorků</i>	56
<i>Tab. 12 - Výsledné průměrné pevnosti ve směru vláken</i>	57
<i>Tab. 13 - Rázová houževnatost pro jednotlivé dřeviny</i>	60
<i>Tab. 14 - Příjem ochranného přípravku a aktivní složky u vzorků pro termickou analýzu</i>	62
<i>Tab. 15 - Iniciační teploty pro oxidační atmosféru u povrchových vrstev</i>	68
<i>Tab. 16 - Iniciační teploty pro redukční atmosféru u povrchových vrstev</i>	70
<i>Tab. 17 - Hodnoty nespalitelného podílu Δ_{NESP} pro dřeviny v redukční atmosféře</i>	72

12.3. Seznam příloh

Příloha 1 – Průměrné hodnoty změn hmotnosti ošetřených a referenčních vzorků

Příloha 2 – Termická analýza – Referenční vzorky

Příloha 3 – Termická analýza – Hodnoty ošetřených vzorků pro oxidační atmosféru

Příloha 4 – Termická analýza – Hodnoty ošetřených vzorků pro redukční atmosféru

Příloha 5 – Termická analýza – Teplotní křivky pro oxidační atmosféru

Příloha 6 – Termická analýza – Teplotní křivky pro redukční atmosféru